CFMS 3 décembre 2014

« Réhabilitation et confortement des ouvrages / Reprise en sous-œuvre »

# TECHNIQUES D'EXCAVATION ET DE SOUTENEMENT EN SITE URBAIN

# REPRISE EN SOUS-ŒUVRE CREATION DE VOLUME SOUS IMMEUBLES EXISTANTS

Dominique NIBEL
BOTTE Fondations

# SOMMAIRE


## A- L'ossature verticale

1. Généralités
2. Les solutions classiques
3. Les micro-pieux
4. Le jet grouting
5. Exemple

## B- Les mises en charges

1. La mise en charge par matage
2. La mise en charge par injection
3. La mise en charge par vérinage

## C- Le plancher transfert

1. Généralités
2. Les poutres de sous-œuvre par tabourets
3. Les poutres de sous-œuvre par engravures
4. Les poutres moisantes
5. Les massifs de ceinturage
6. Les voûtes parapluies

## D- Le chantier de la rue Tilsitt

# Les reprises en sous-œuvre pour créer des volumes sous les immeubles existants

RSO partielle - Passage des Princes
Paris 14ème

# A- L'ossature verticale
## 1- Généralités

Les techniques utilisées pour les fouilles à "ciel ouvert" sont adaptées à la réalisation des ouvrages en sous-œuvre.

- **Les solutions classiques et manuelles:**
  - Puits blindés alternés pour les écrans continus,
  - Puits isolés pour création de jambes de pantalon. Ces derniers sont associés à un voile masque en BP à l'avancement du terrassement permettant de réaliser des écrans continus,
  - Puits isolés pour poteaux.
- **Les solutions mécanisées :**
  - Micro-pieux associés à un voile masque en BP en périmétrie du projet ou MP centraux pour étaiement provisoire,
  - Colonnes de Jet grouting sécantes avec un voile masque.
  - Pieux et Parois moulées si les hauteurs et les emprises le permettent.

- Les choix des différentes solutions sont liés à des critères géologiques et géométriques:

  - **Nature des terrains (portance):**
    - Pour des sols meubles il est impératif de fonder les charges au bon sol avant toute excavation soit par une solution manuelle (puits blindés) ou mécanisée (colonnes de jet grouting en solution définitive ou micro pieux en solution provisoire ou déf)
    - Pour des terrains dont le module de sol est élevé, il est possible de réaliser des RSO successives à l'avancement du terrassement à condition de pouvoir se passer des mises en charge successives.
    - Pour les appuis centraux il est usuel de réaliser ces appuis directement au bon sol et sous le fond de fouille sans reprise intermédiaire.

- **Présence d'une nappe dans la hauteur de l'excavation:**

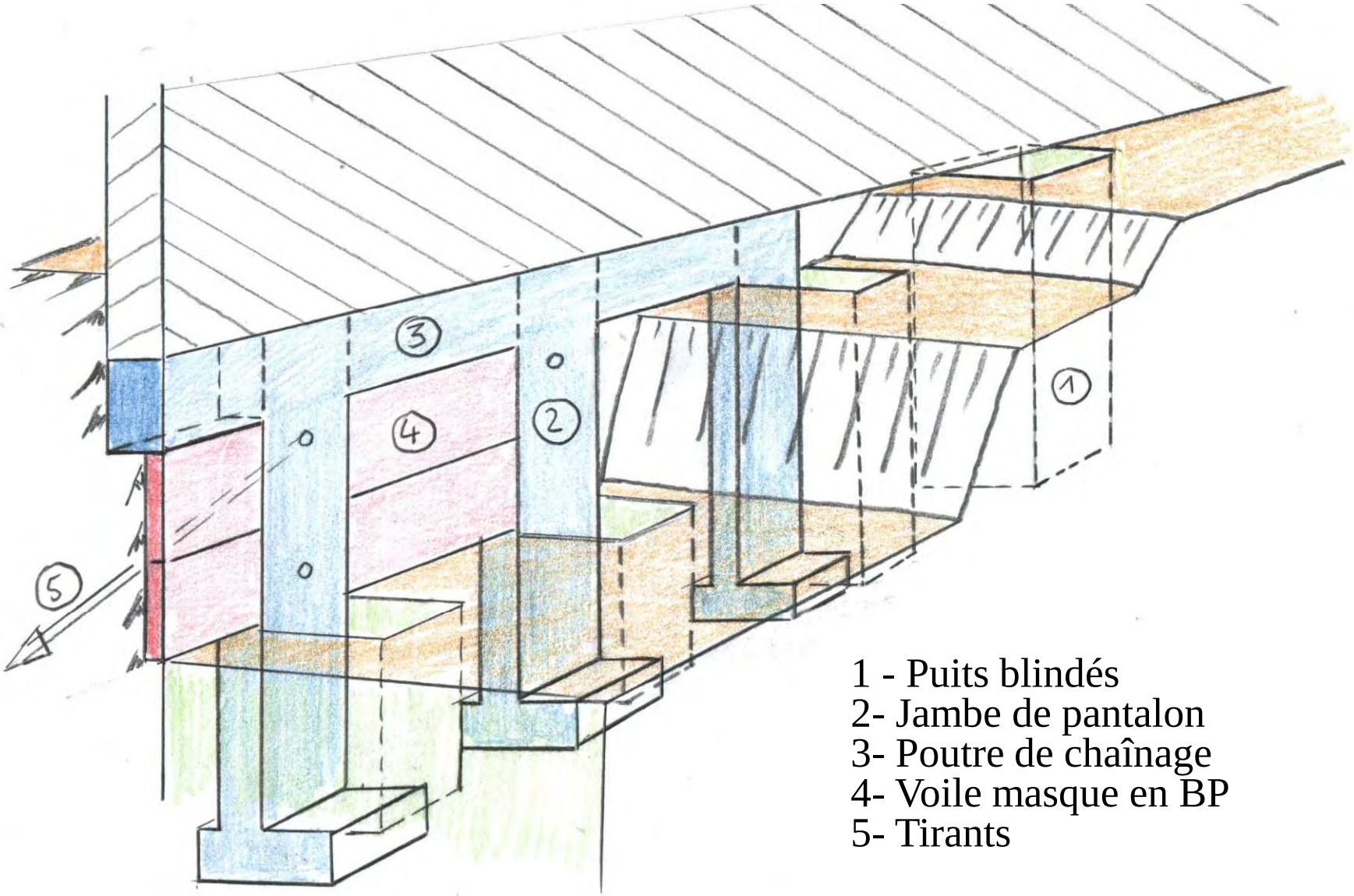
- Choix d'un écran semi-étanche de type jet grouting en colonnes sécantes
- Choix d'une injection d'étanchéité en périmétrie et/ou en fond de fouille
- Choix d'un rabattement préalable pour de faibles hauteurs d'eau (si débit maîtrisable et tassement induit acceptable)

- **Hauteur du soutènement à réaliser :**
  - Choix d'une solution manuelle en puits isolés alternés pour de petites hauteurs,
  - Choix d'une solution mécanisée (colonnes de jet grouting ou micro-pieux) pour de grandes hauteurs.
- **L'exiguïté des lieux :**
  - Choix d'une solution manuelle de type puits blindés,
  - Pour les petites hauteurs libres, du petit matériel est toujours utilisable, mais la puissance des machines est vite limitée et réduit les possibilités de forage dans des sols durs.
  - Choix d'une solution mécanisée en colonnes de jet grouting ou micro-pieux dès que les accès, les hauteurs libres dans les sous-sols et les quantités le permettent.
  - Il intéressant de savoir que de petites transformations permettraient peut-être de rentabiliser une solution mécanisée

# 2 - Les solutions classiques

- Les travaux de RSO classiques sont conduits à partir de puits blindés.
- Ils sont économiquement viables dans des terrains d'assise présentant un bon taux de travail et également pour des fouilles profondes en site exigüe.
- Les travaux doivent être réalisés hors d'eau. Il y a lieu de prévoir si nécessaire des dispositions adéquates pour maintenir les sols hors d'eau soit, par épuisement, par rabattement ou par injections préalables.
- Pour les soutènements en jambe de pantalons (puits espacés), la réalisation du voile masque en BP par passes est fait en temps masqué par rapport au terrassement.

# Principe de réalisation des reprises péri métriques




1 - Puits blindés
2- Jambe de pantalon
3- Poutre de chaînage
4- Voile masque en BP
5- Tirants

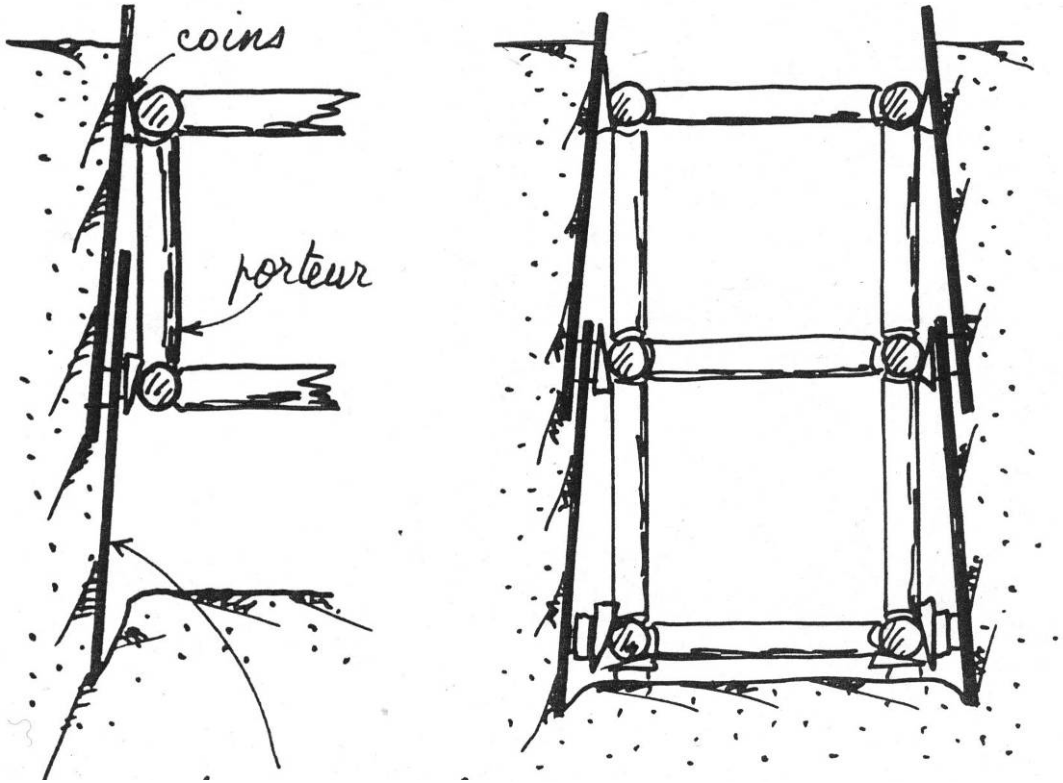
- Technique qui consiste à réaliser des puits blindés espacés suivant une trame définie, pour y construire des semelles et une partie de voile ou poteau formant les quilles primaires ou les jambes de pantalon.
- Solution souple car l'élément structurel peu être implanté sans restriction même en sous-œuvre avec ou sans étaiement préalable en lui donnant la forme adapté au projet.
- Cette technique est utilisé en sol meuble donc la semelle en pied doit impérativement descendre jusqu'au sol porteur. Si celui-ci est trop loin du FF alors, cette solution n'est plus économique.
- Il est nécessaire de prévoir un matage en tête de quille ainsi qu'une poutre de chainage reliant ces quilles.
- Ces jambes de pantalons constituent des raidisseurs verticaux garantissant une sécurité du point de vue de la stabilité de la fouille.
- Elles permettant d'y accrocher le voile réalisé (souvent en béton projeté) en descendant par passes au fur et à mesure de l'excavation.
- Les tirants ou butons  sont placés sur ces raidisseurs.
- Le blindage est abandonné en raison du coût de sa récupération.

- La taille des puits dépend des poteaux ou des éléments de voile à construire à l'intérieur (mini 1.30 x 1.30 avec 1.10m devant la structure à construire)
- La taille des puits dépend également de la taille des futures semelles. Dans des terrains cohérents la semelle peut être débordante.
- L'espacement des puits dépend de la descente de charge et du taux de travail du sol. Optimal à partir de 5.50m, cet espacement peut se réduire jusqu'à des éléments de tranchée adjacents successifs en cas de sols peu porteur conduisant à la réalisation d'un mur continu.
- En général, on réalise une première série de puits dont on évacue les déblais; puis on exécute les suivants en remblayant les précédents.
- Comme le béton travaille bien en flexion composée, et que la section de ces jambes de pantalons est relativement importante, le nombre de niveau de butonnage se trouve réduit.
- La fiche est également réduite par rapport à un écran flexible car le frottement mobilisable sous la semelle induit par la descente de charge se rajoute à la butée frontale.

- Principe de puits blindés dans sols pulvérulents

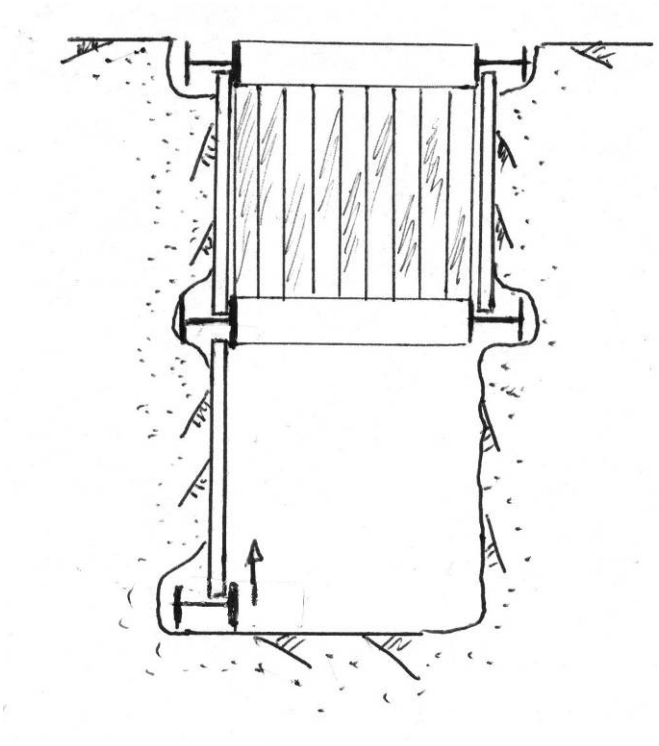
Mise en fiche des

planches par enfilage



- Principe des puits blindés dans sols cohérents:

  Pose des planches après terrassement de la volée



1- Treuil de service

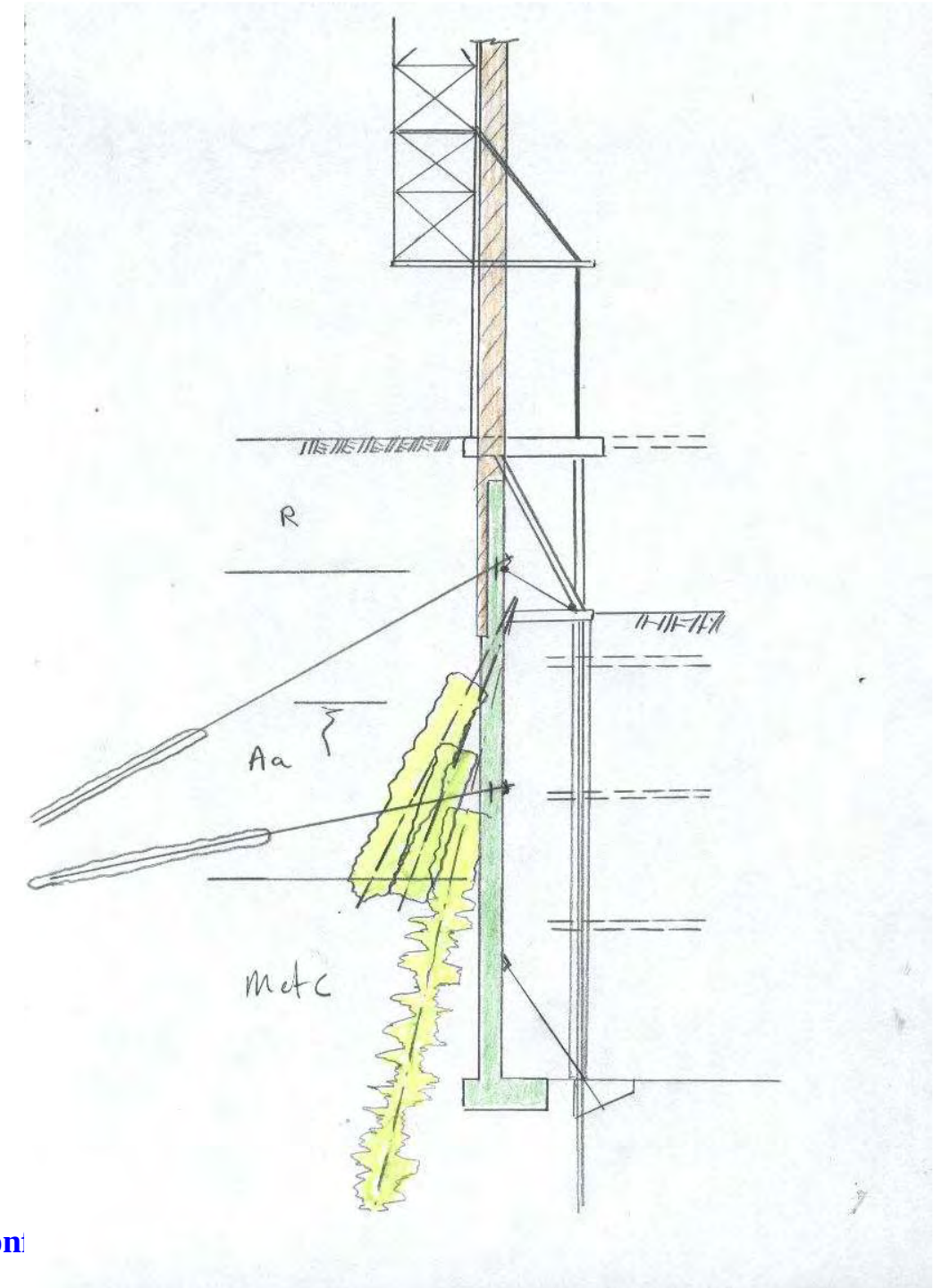
2- Chapeau sous le mur

3- Ferraillage et coffrage de la JP

# Îlot NMPP – rue Réaumur - Paris

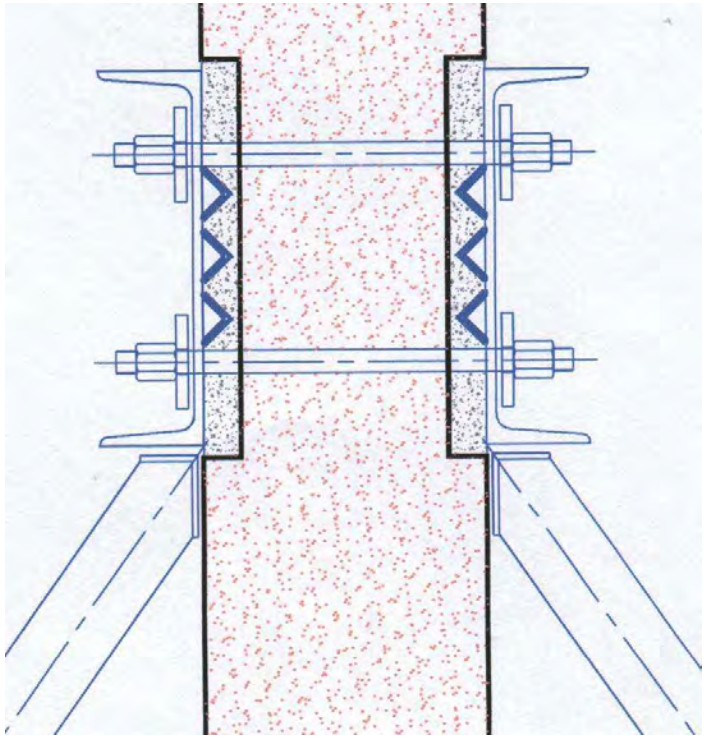
# Îlot NMPP – rue Réaumur - Paris

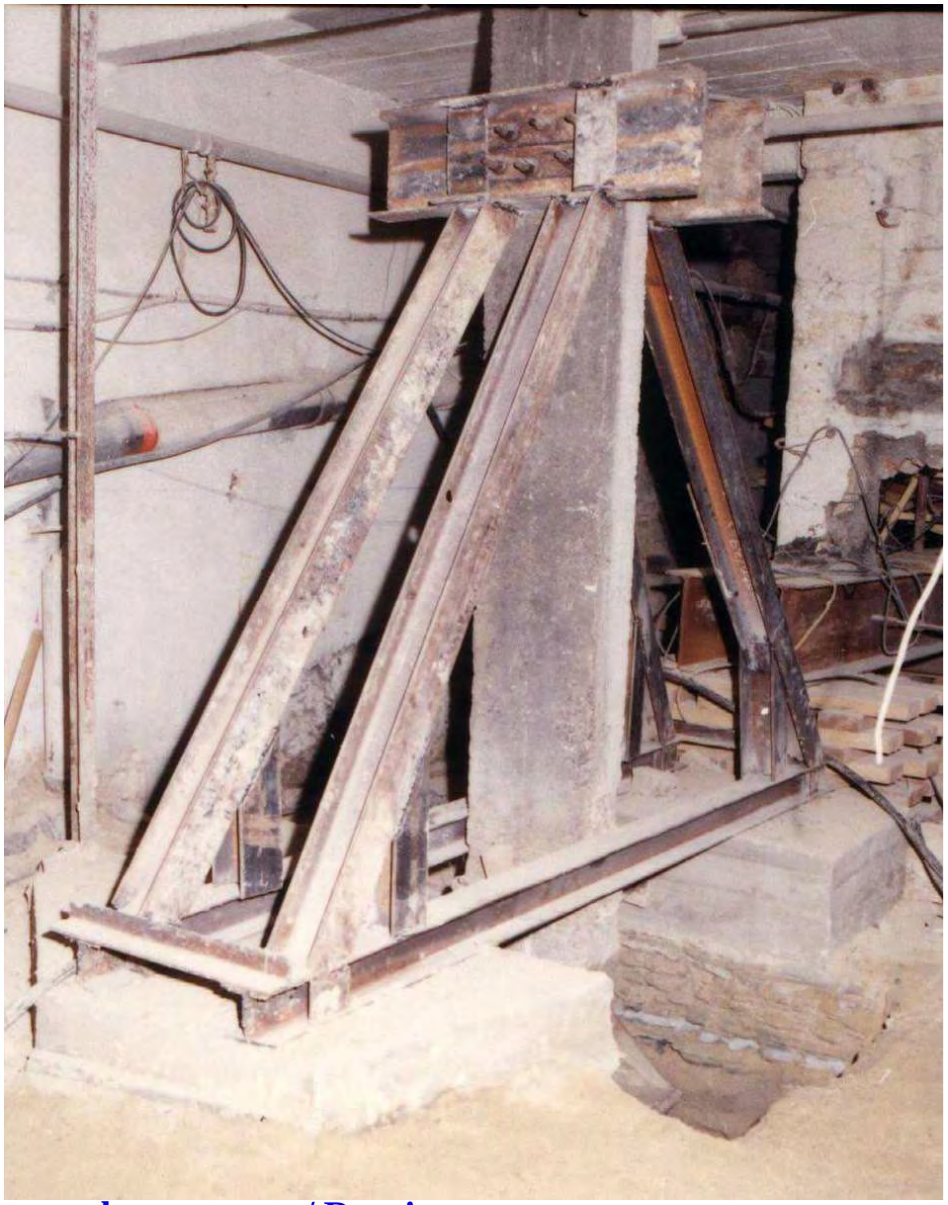
Principe de RSO de la façade



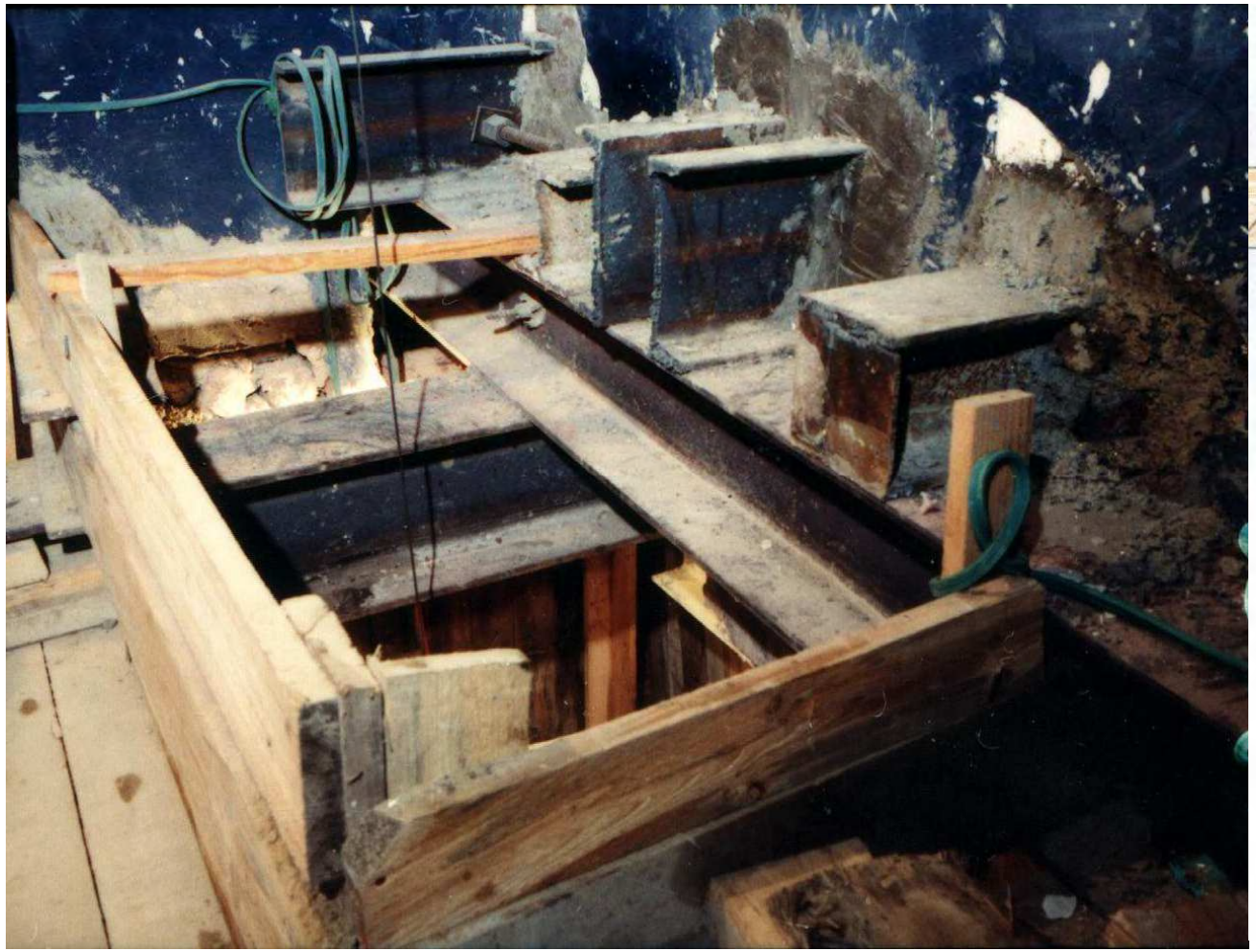
# Exemple sur reprises ponctuelles

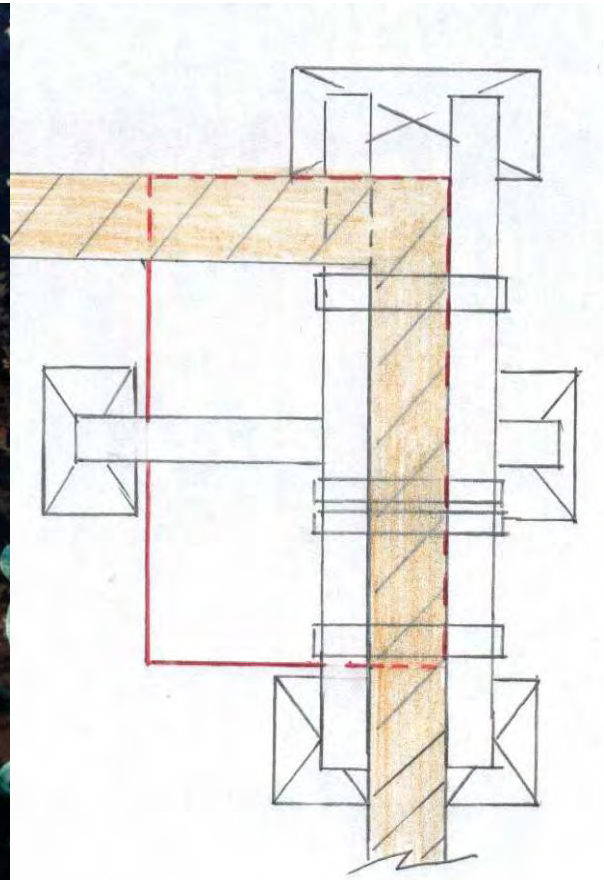
- Etaiement d'un poteau isolé par chevalement sur semelle provisoire.





- Etaiement lourds en absence de continuité de la structure favorisant le report des charges par voûtes.





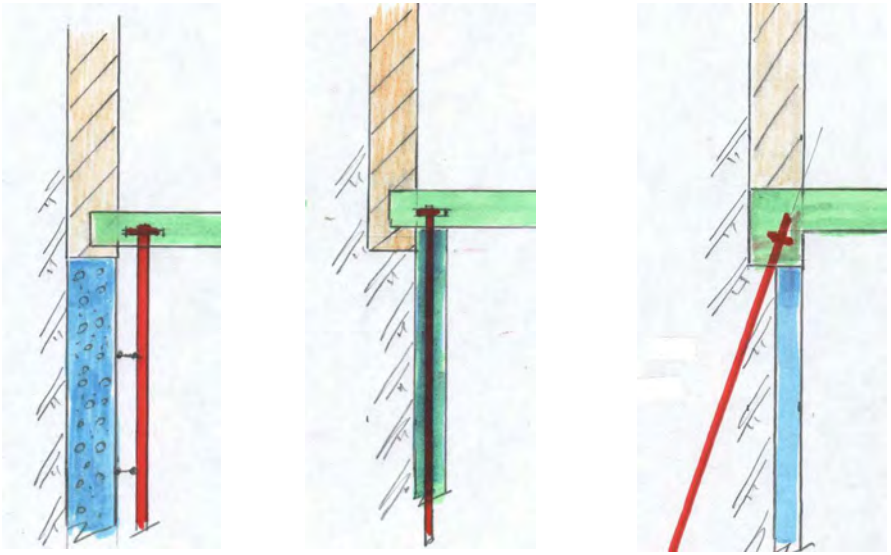
Etaiement en angle de mur

# 3 - Les micro-pieux:

- Solution souple permettant de pallier aux défauts des puits blindés:
  - Technique mécanisée permettant de limiter la main d'œuvre.
  - Les charges sont transférées au bon sol avant le début du terrassement (intéressant si le substratum se situe largement sous le FF ou en présence d'eau).

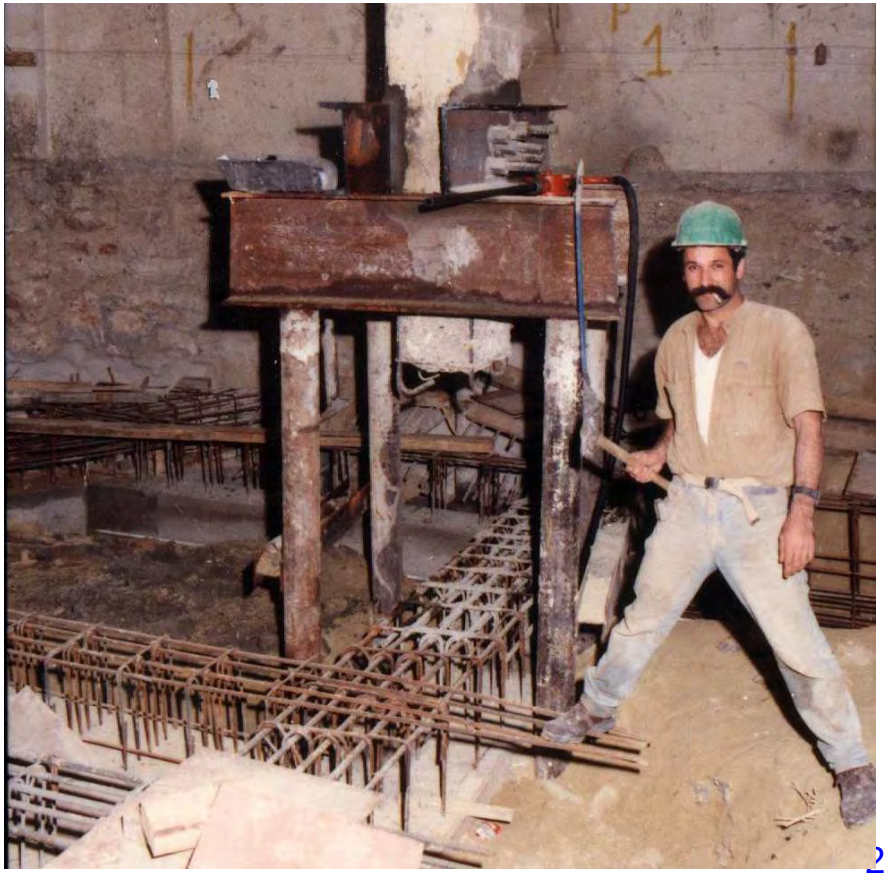
- Les limites de la technique majorent les coûts:
  - La puissance des machines est limitée en zone exiguë.
  - L'espacement sera plus serré si les micro-pieux remplissent également un rôle de soutènement.

- En périmétrie du projet les micro pieux ne peuvent pas être implantés directement en sous-œuvre mais sont forcement décalés.

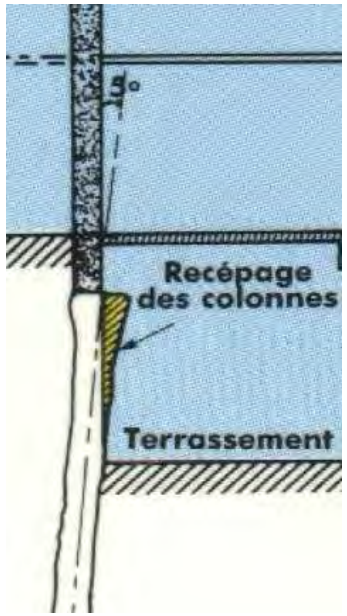


**C ment des ou**

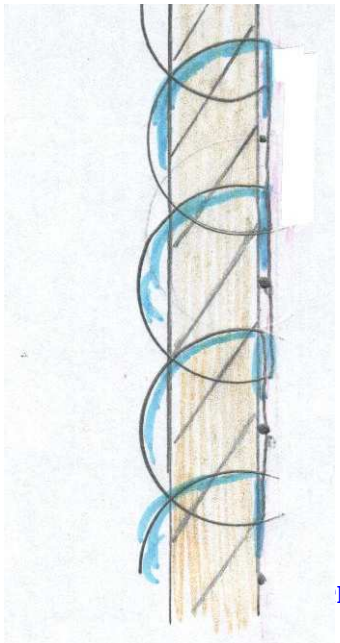
- En partie centrale des chevalements sont réalisés en associant les micro pieux par groupe et contreventés l'avancement du terrassement.



# 4 - Le Jet grouting:




- Des colonnes ou demi-colonnes de jet grouting sécantes implantés sous un mur, permettent de créer, un écran semi-étanche.



- Le coût est renchéri par le problème de gestion des spoils.

- Cette solution doit être associée à la réalisation d'un voile masque en BP à l'avancement du terrassement.

# 5 - Exemple d'un chantier mixte Micro-pieux / Jet

- Micro-pieux centraux sous radier existant;
- Colonnes sécantes en jet grouting en sous œuvre.

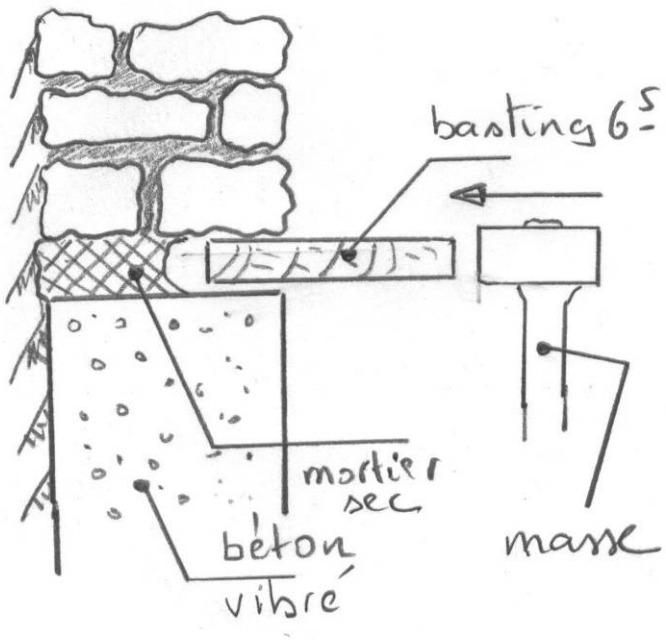
- Terrassement niveau par niveau avec réalisation des planchers et des structures verticales accrochés aux micro-pieux

# B- Les mises en charge des structures verticales

## 1 - La mise en charge par matage

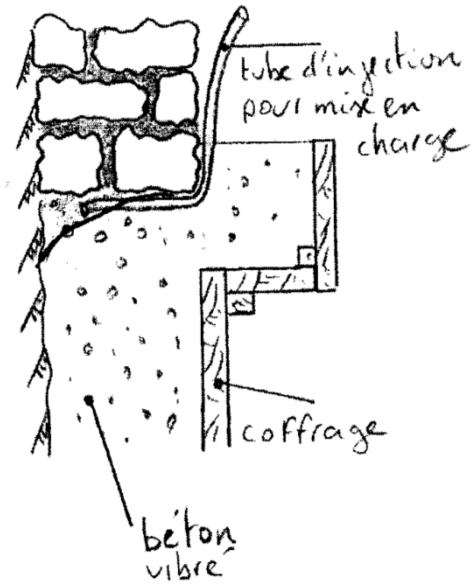
- RSO de grande hauteur
- Immeubles lourds

- Refoulement d'un mortier sec au moyen d'un basting frappé énergiquement par une masse
- La compression du mortier développe une contrainte de 10 bars environ



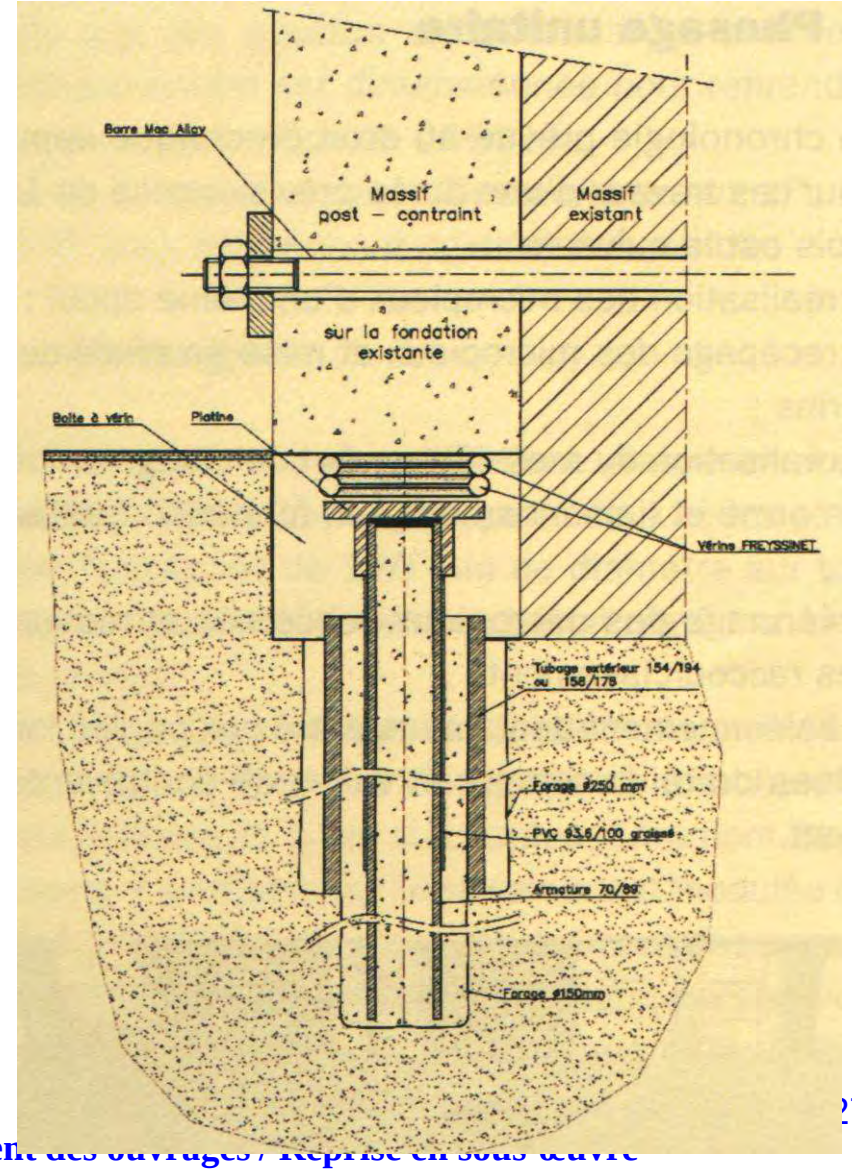
# 2 -La mise en charge par injection

- RSO de grande hauteur;
- Mise en place d'un tube d'injection au bétonnage pour parfaire le contact par remplissage du ménisque et du joint laissé par le retrait du béton;
- Pression d'injection suivant nature de l'immeuble;



# 3 - La mise en charge par vérinage

- Vérins plats insérés sous l'ouvrage à mettre en charge entre deux plaques.
- Peuvent être couplés en série pour des problèmes de course ou couplés en parallèle pour une mise en charge uniforme d'un mur.
- Mise en charge ou relevage d'ouvrages affaissés.
- Prévoir un dispositif de contrôle des soulèvements par fleximètre.



# C- L’ossature horizontale:
# Le plancher transfert

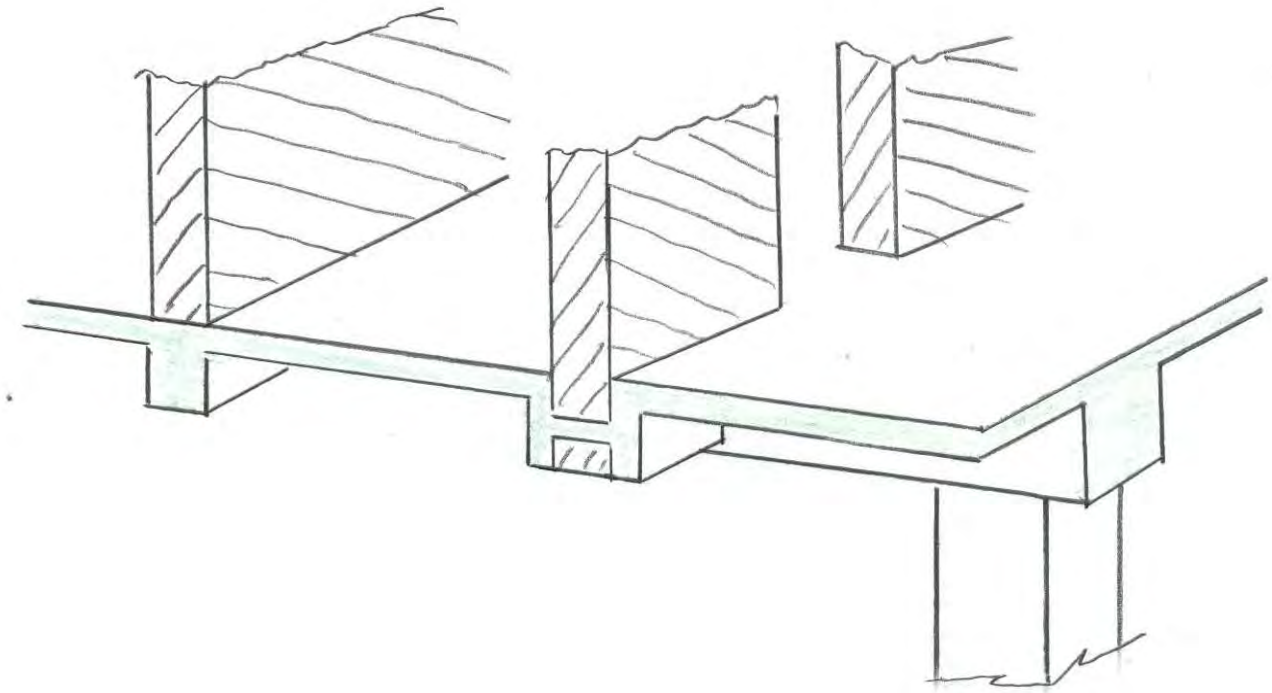
Chantier: Rue Laffitte - PARIS

# 1- Généralités

- Structure maîtresse de la reprise en sous-œuvre.
- Son rôle est de transférer les charges de la structure existante souvent relativement dense sur la nouvelle infrastructure comportant le minimum d'appuis.
- Elle est constituée d'un réseau de poutres en BA ou BP, voire occasionnellement en dalles pleines.
- Sa conception nécessite une analyse de la structure.

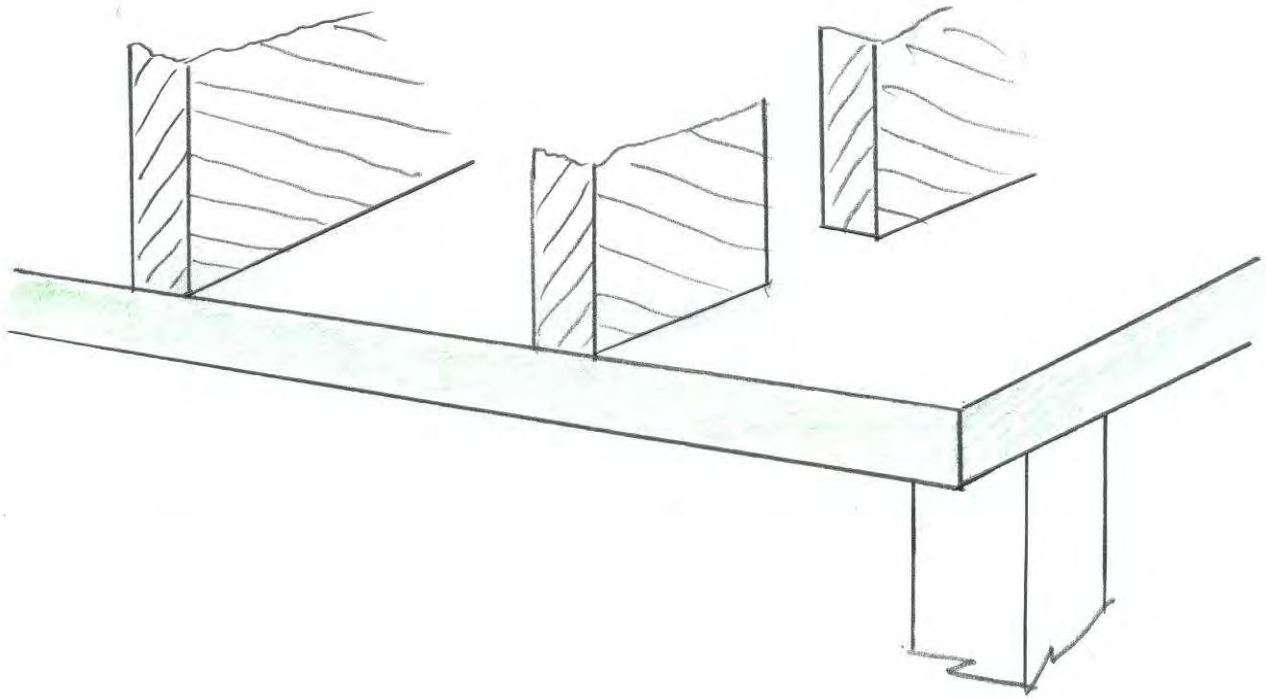
  Une attention particulière est portée au phasage des travaux car le dimensionnement est souvent enveloppe de plusieurs situations de charges.
- Sa mise en œuvre est complexe et laborieuse en sites exigus.

Plancher de reprise avec poutres primaires et poutres secondaires.



Plancher de reprise

en dalle pleine.



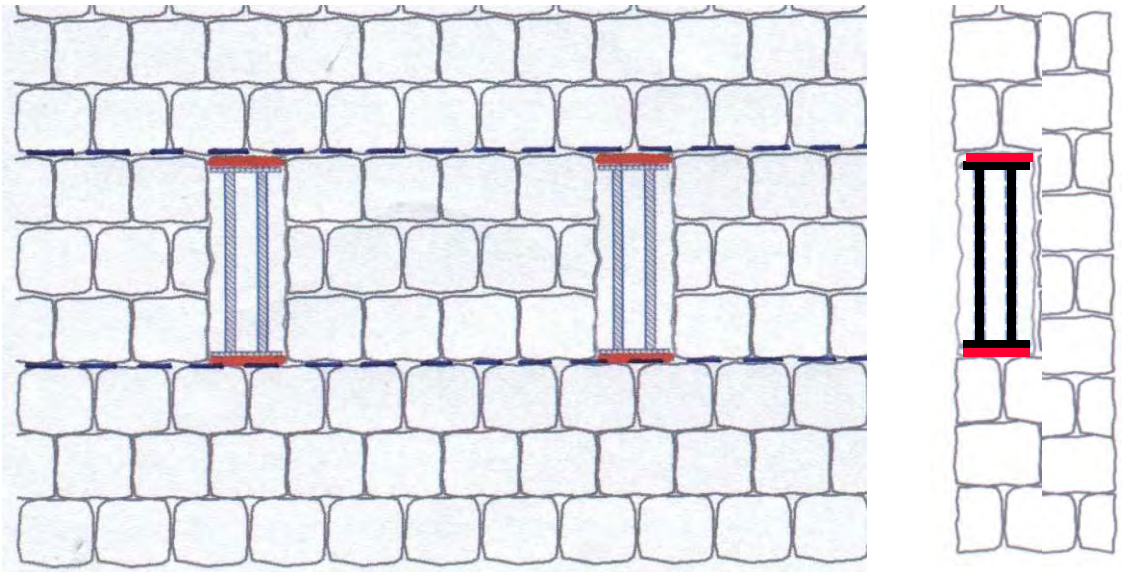
- Les techniques particulières de mise en œuvre sont :
  - Pour la reprise des charges linéaires :
  - Les poutres en sous-œuvre:
    - en une seule phase avec des tabourets,
    - par parties alternées avec engravures dans les murs et connexion des aciers par manchons.
  - Les poutres moisantes:
    - deux demi-poutres extérieures avec blochets transferts.
  - Pour la reprise des charges isolées :
  - Frettage latéral avec serrage par précontrainte.
  - Poteau noyé dans poutre BA classique
  - Etaiements provisoires avec poutres de sous-œuvre.

# 2 - Les poutres de sous-œuvre avec tabourets

La reprise des charges est assurée provisoirement par des tabourets métalliques mis en œuvre dans des saignées.

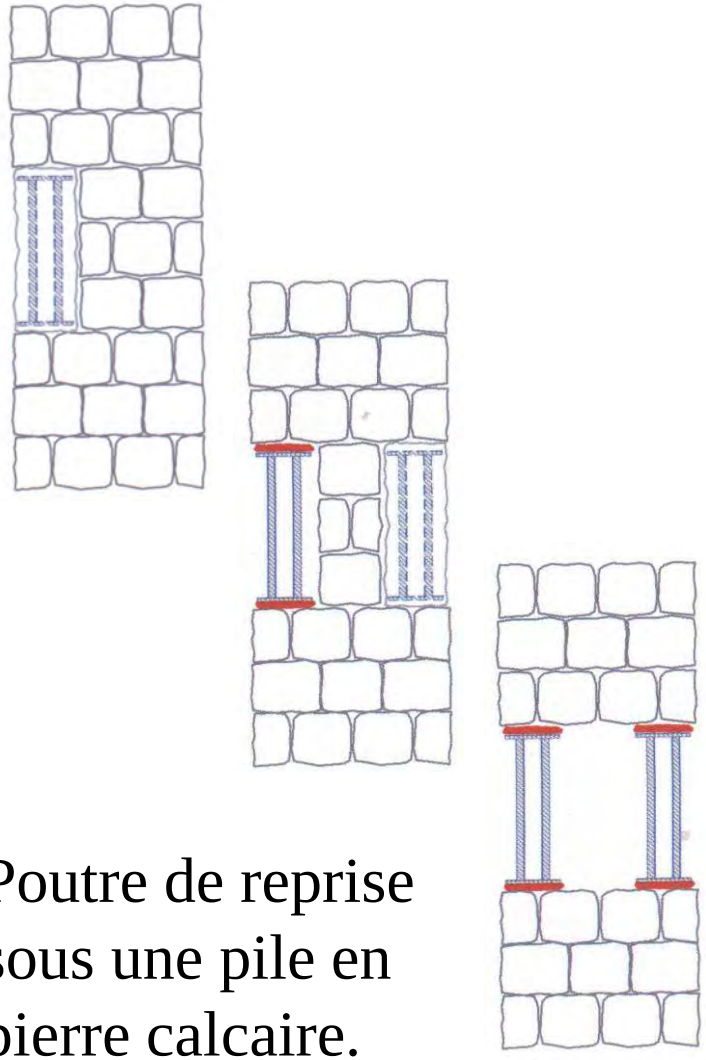
Ces tabourets sont posés sur un mortier de calage puis matés en partie supérieure, au refus, par un mortier sans retrait.

Après démolition, des  voûtes de décharges se créent, favorisant le report des charges au-dessus et au-dessous de l'ouverture.

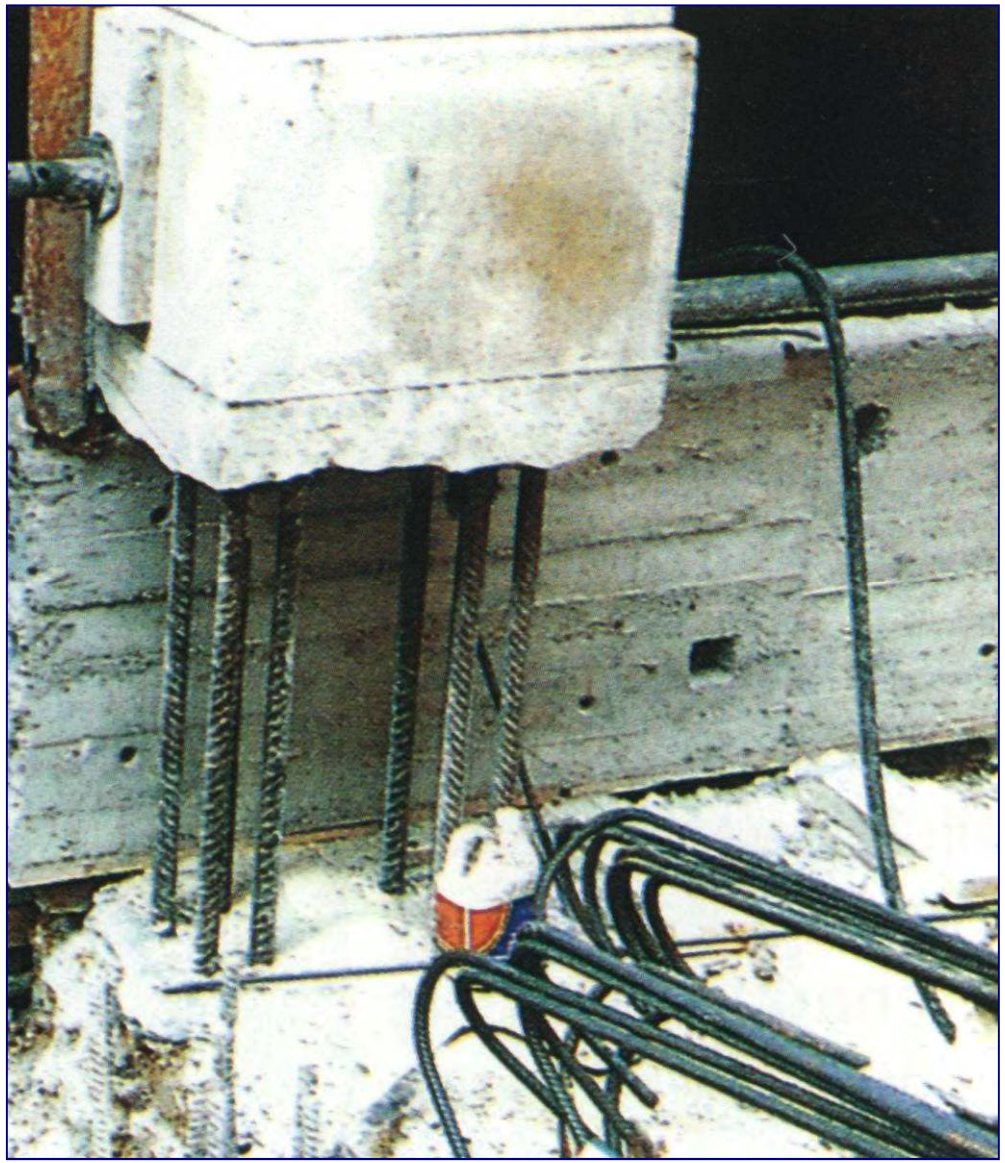


En fonction des charges, cette technique peut se faire sur toute l'épaisseur du mur ou par demi épaisseur.

Poutre de reprise sous mur en maçonnerie.



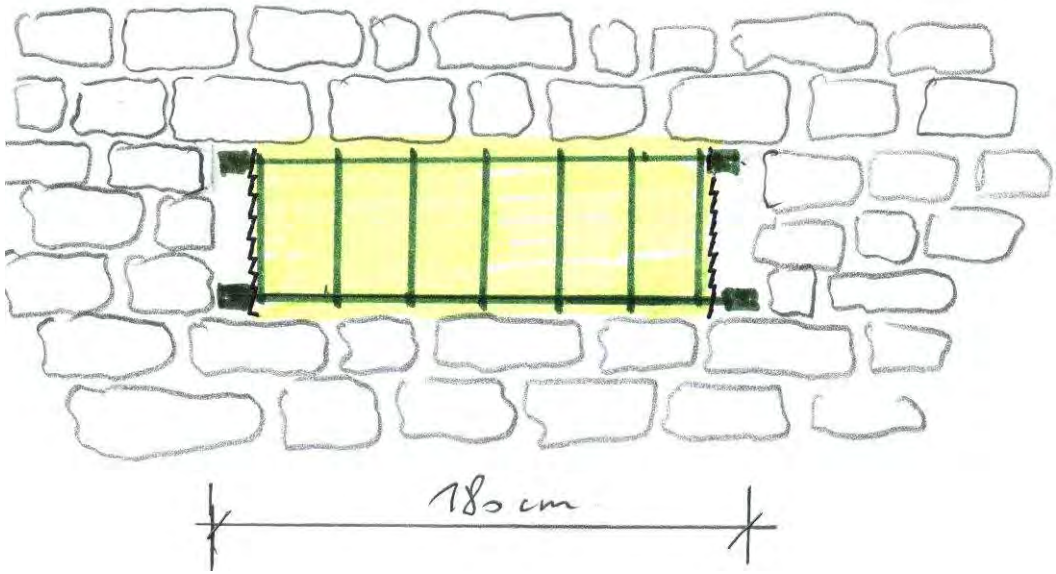
Poutre de reprise sous une pile en pierre calcaire.



# 3 - Les poutres de sous œuvre par engravures

La reprise des charges est assurée provisoirement par la formation de voûtes de décharge au-dessus de l'ouverture.

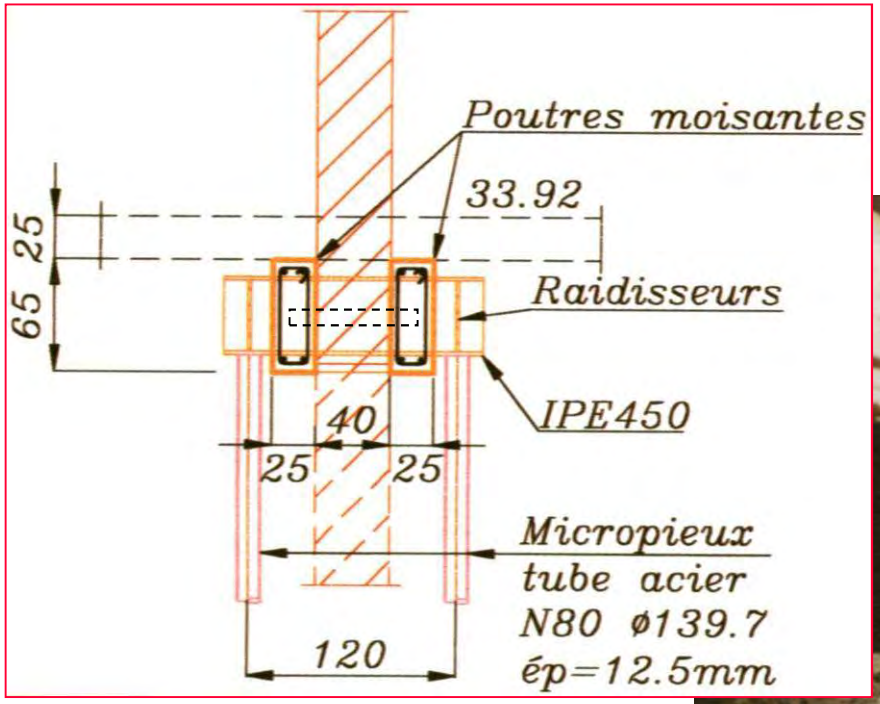
La poutre est ferraillée avec des manchons et le béton est mis en place entre des coffrages de type tôle déployée.



# 4 - Les poutres moisantes

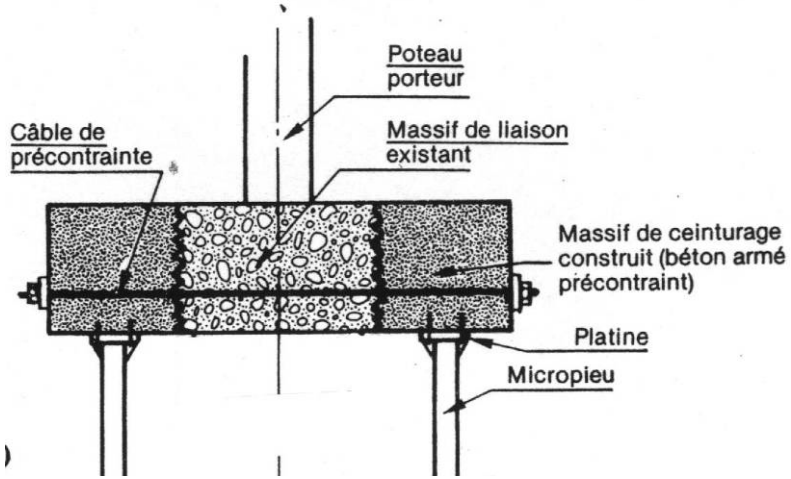
Les poutres moisantes sont réalisées de part et d'autre d'un mur avant tout terrassement.

Des blochets noyés permettent le transfert des charges.



# 5 - Les massifs de ceinturage mis en précontrainte

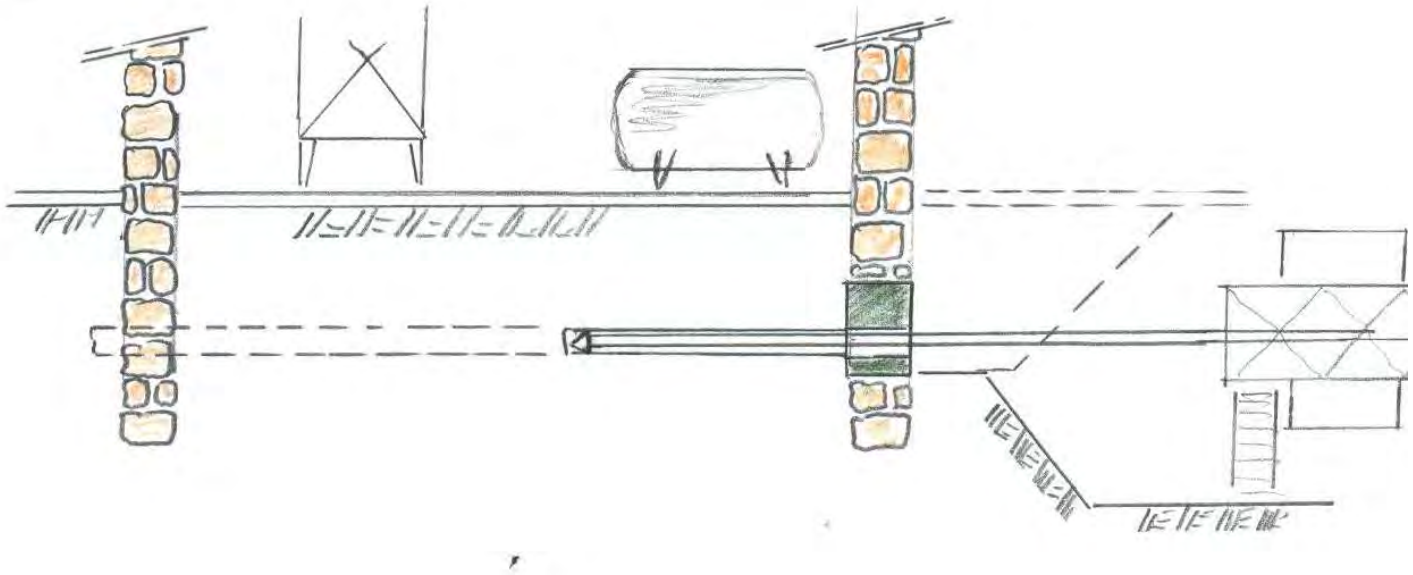
Les poutres moisantes sont réalisées de part et d'autre d'un mur ou d'un poteau. L'étreinte par de la précontrainte permet le transfert des charges.



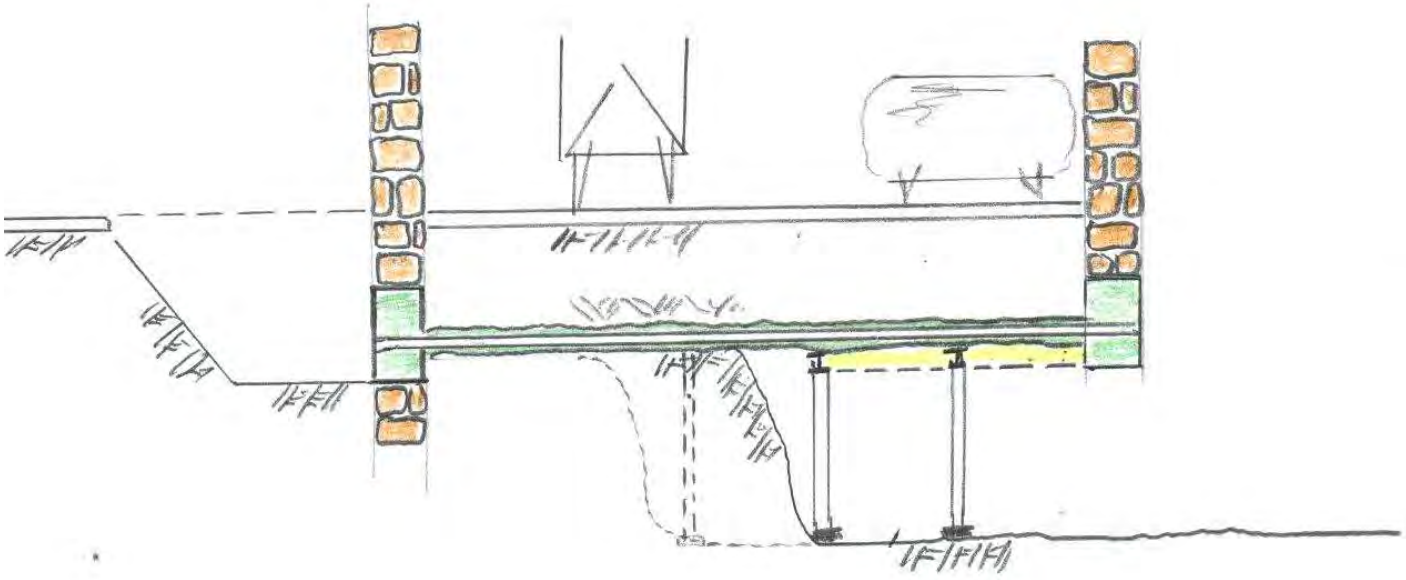
## 6 - La technique des voûtes parapluies

Technique particulière pour passer en tunnel sous un terre-plein ou un local existant.

- renforcement du ciel de la galerie pour faciliter le terrassement et la pose des cintres
- mise en place de tubes suivant la technique des micro pieux.
- dans le cas d'un local en exploitation, présentant un dallage fragile, il est souhaitable de conserver une hauteur de terre formant matelas de répartitions.



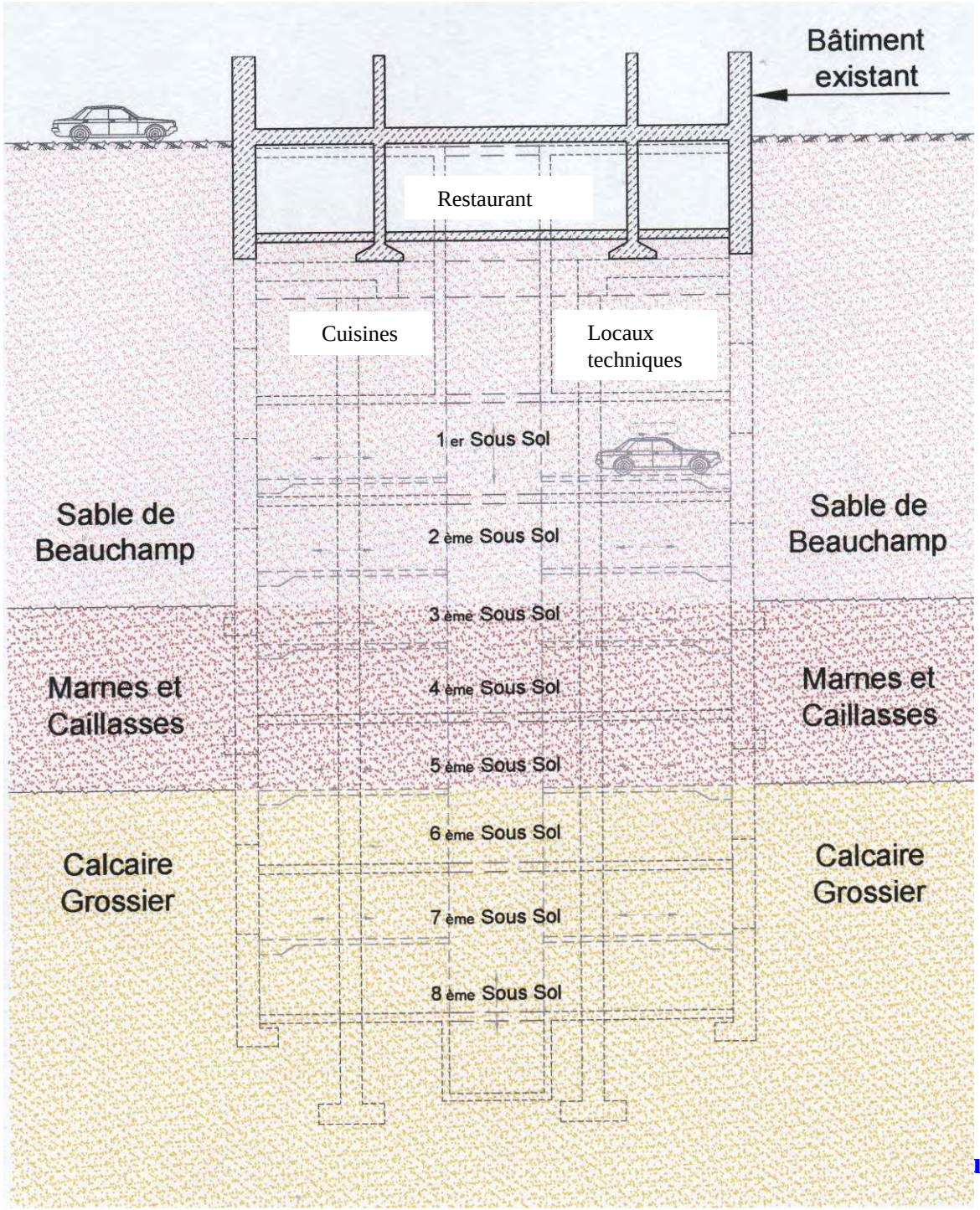
- Terrassement en banquette inversée pour réalisation de la poutre de sous-œuvre
- Terrassement devant l'existant en conservant une banquette et mise en œuvre des tubes par forage ex: tube 180 ép 14mm espacé tous les 0.40 m



- Terrassement en banquette inversée pour réalisation de la poutre de sous-œuvre coté opposé.
- Terrassement sous la voûte parapluie en posant les cintres à l'avancement.
- Ferraillage, coffrage et bétonnage de la dalle en sous-œuvre.

# D- EXEMPLE: Une solution de RSO mixte par puits et micro-pieux

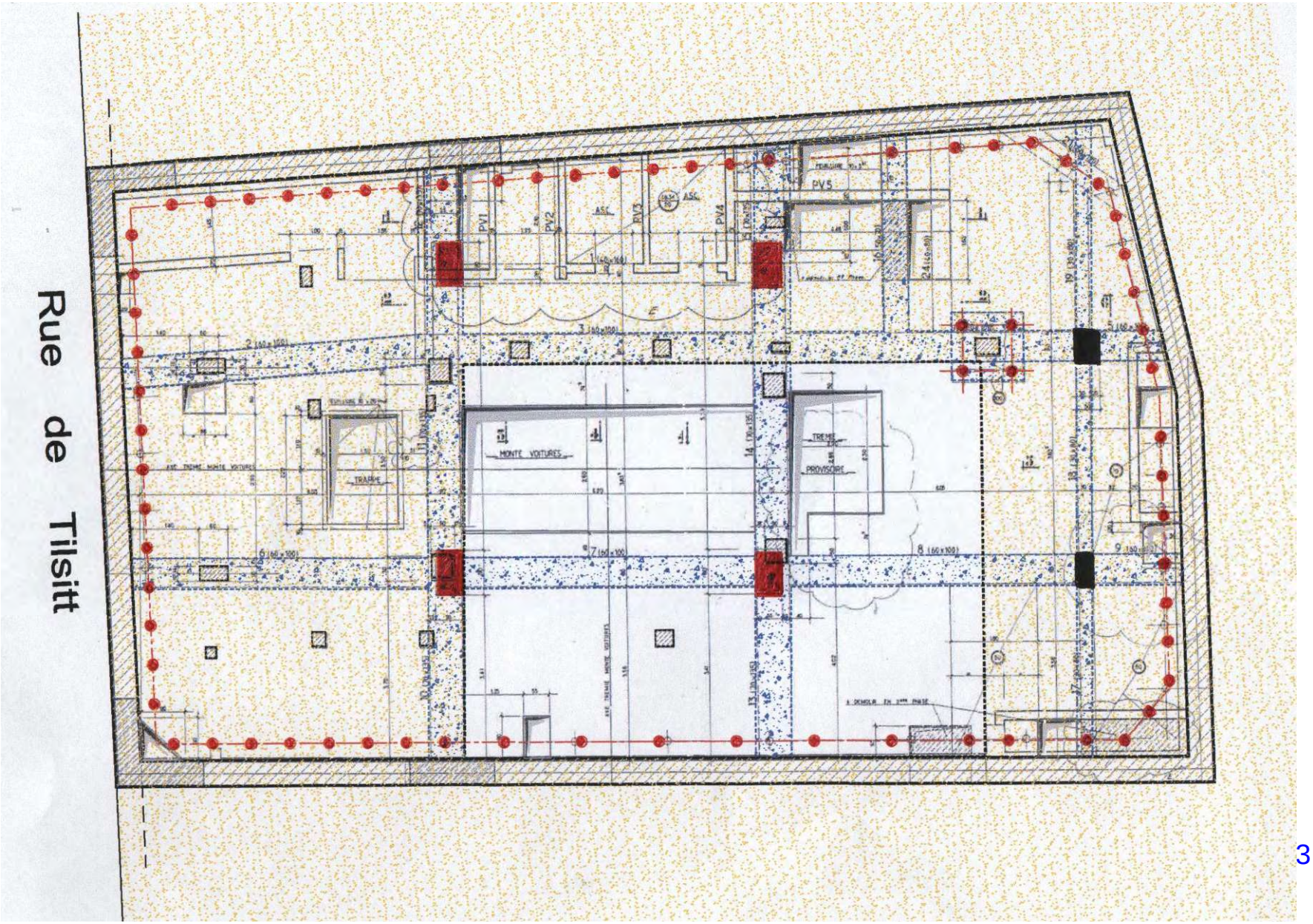
- Chantier : 24 rue Tilsitt
  PARIS 8ème
- Surface au sol: 12.50 x 24.00 $m^2$
- Profondeur : 25.00 m / chaussée
  soit 8 niveaux de parking pour 83 places et 2 niveaux commerciaux



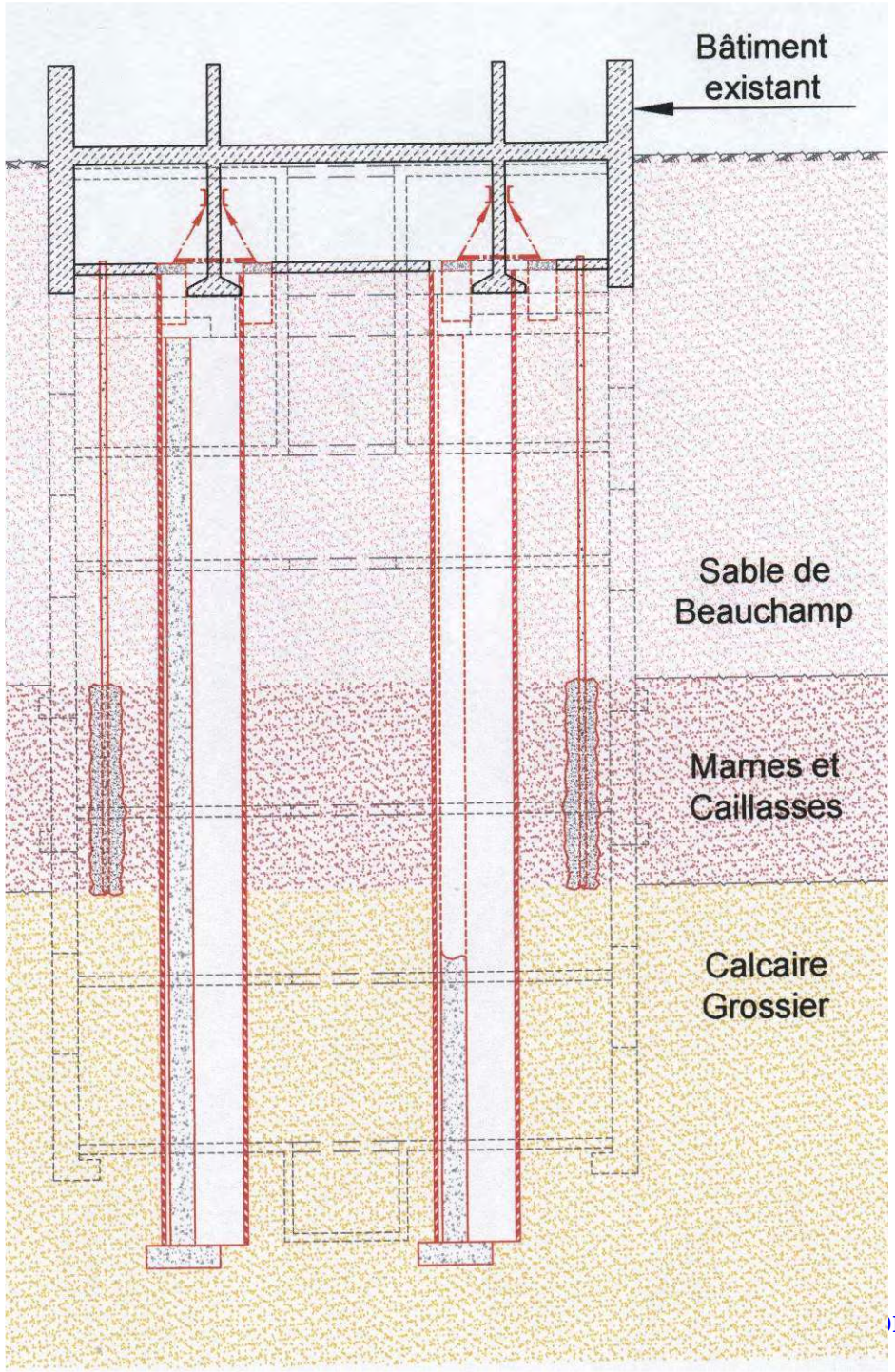

- Définition du projet

- Difficultés:
  - exiguïté des lieux,
  - entablement des derniers sous-sols dans le Calcaire Grossier.

- Plan d'implantation des poteaux, des micro-pieux et des poutres du plancher transfert

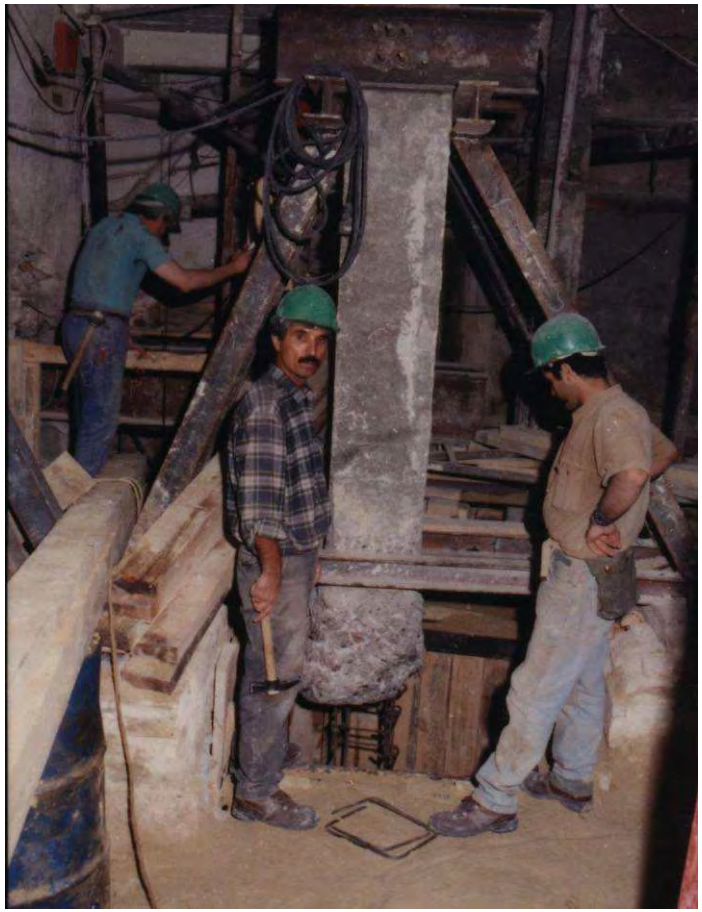


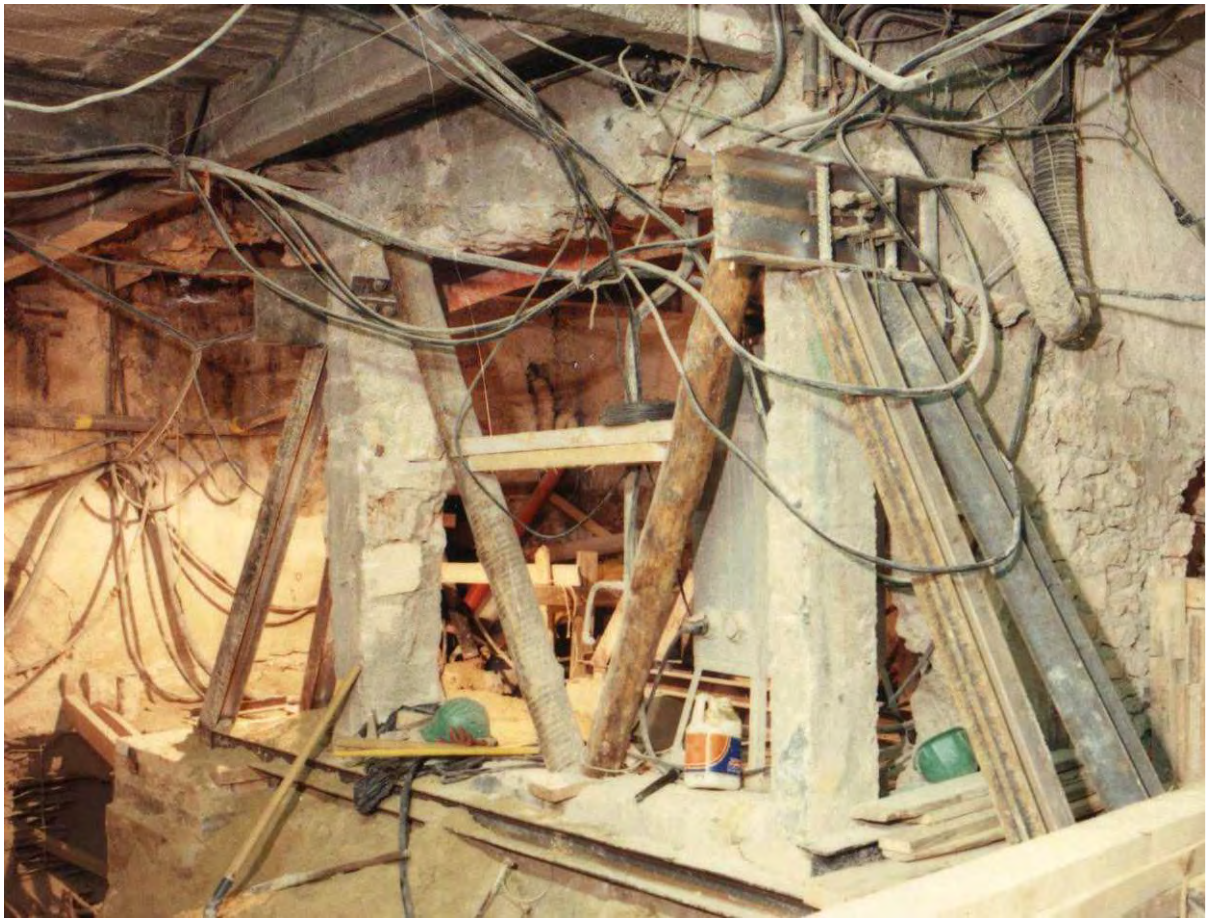
- Principe de réalisation
  - Travaux préparatoires (trémie d'accès, portique)
  - Reprise en sous-œuvre provisoire des murs périmétriques par des micro-pieux.
  - Reprise de la structure intérieure par les poteaux définitifs réalisés dans des puits blindés.
  - Réalisation du plancher de reprise avec sa poutre périmétrique.
  - Réalisation à l'avancement du terrassement de la paroi périmétrique en béton projeté.
  - Mise en œuvre simultanément de la structure intérieure (tous les 2 niveaux) formant butons pour assurer la stabilité de la fouille.




- Phase 1:
  - réalisation des micro-pieux provisoires,
    - MP périmétriques ancrés dans les Marnes et Caillasses
    - MP intérieurs ancrés sous le FF dans le Calcaire Grossier
  - étaiement de la structure existante sous le niveau du plancher transfert,
  - mise en œuvre des poteaux définitifs primaires dans des puits blindés manuels.

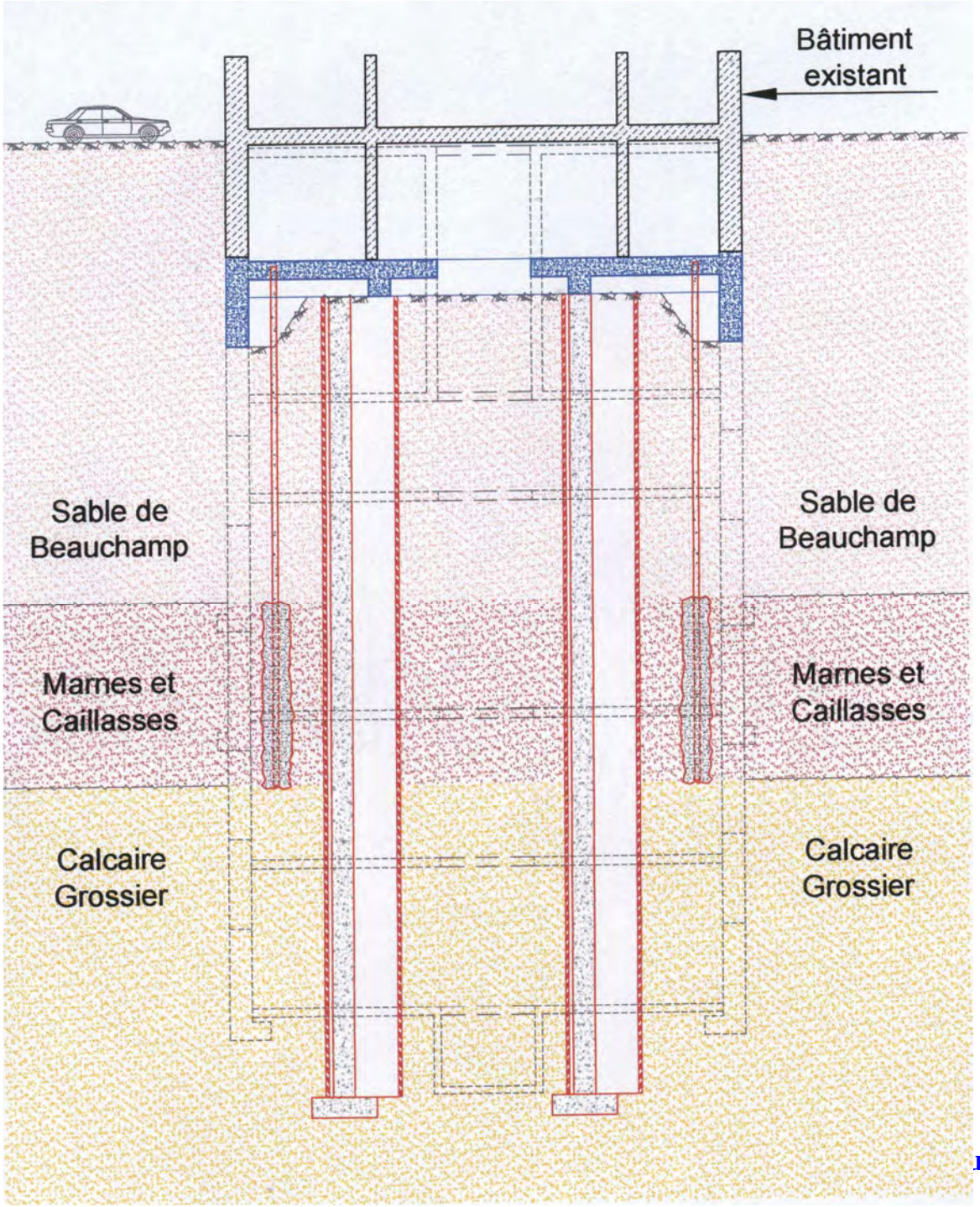
Forage des micro-pieux périmétriques





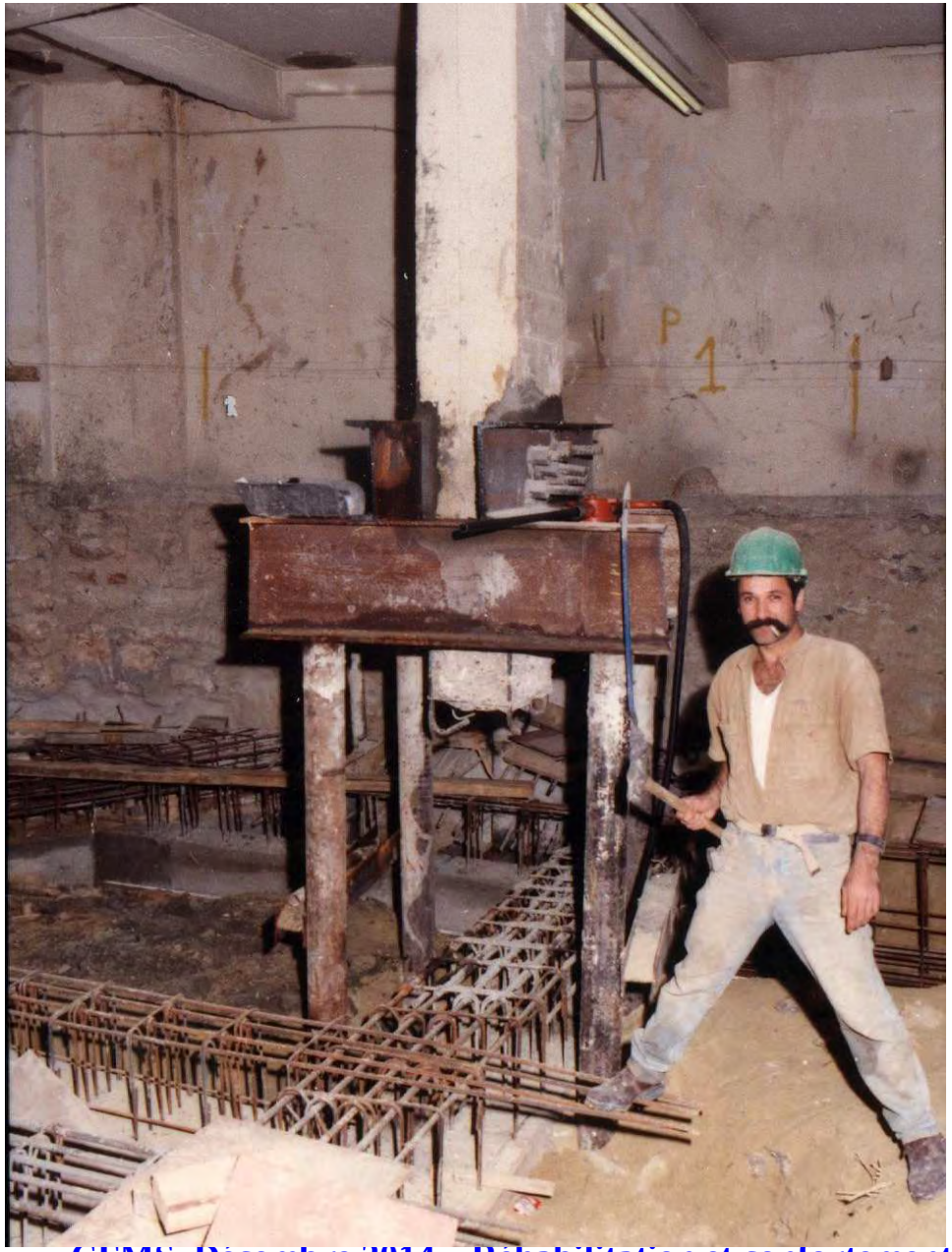
Etaiement de la structure et réalisation des puits blindés

Décoffrage des puits blindés

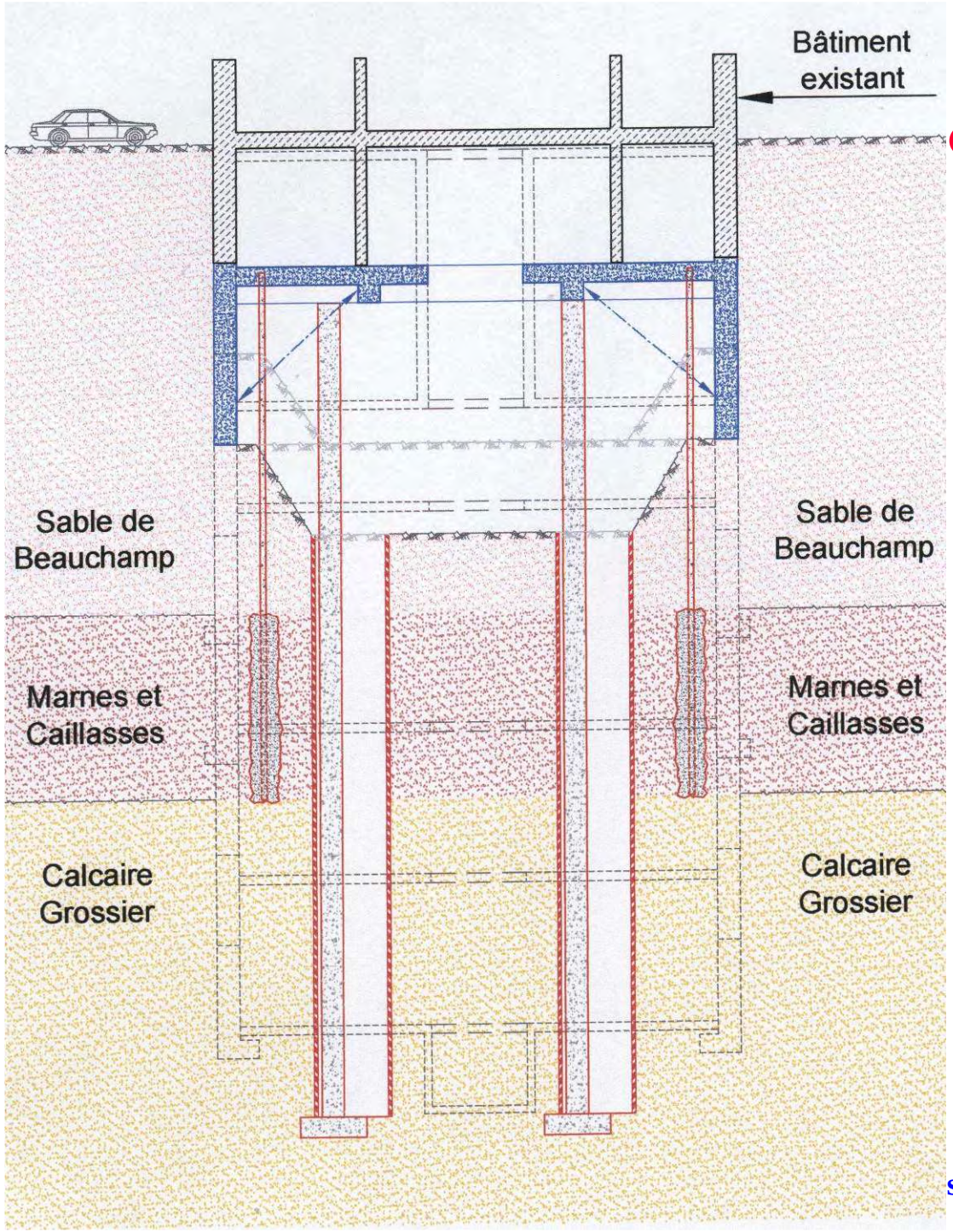



- Phase 2:
  - réalisation de la poutre de chaînage en rive pour mise à niveau des fondations et ancrage du plancher transfert,
  - réalisation des poutres puis de la dalle du plancher transfert,
  - Dépose des étaiements provisoires.

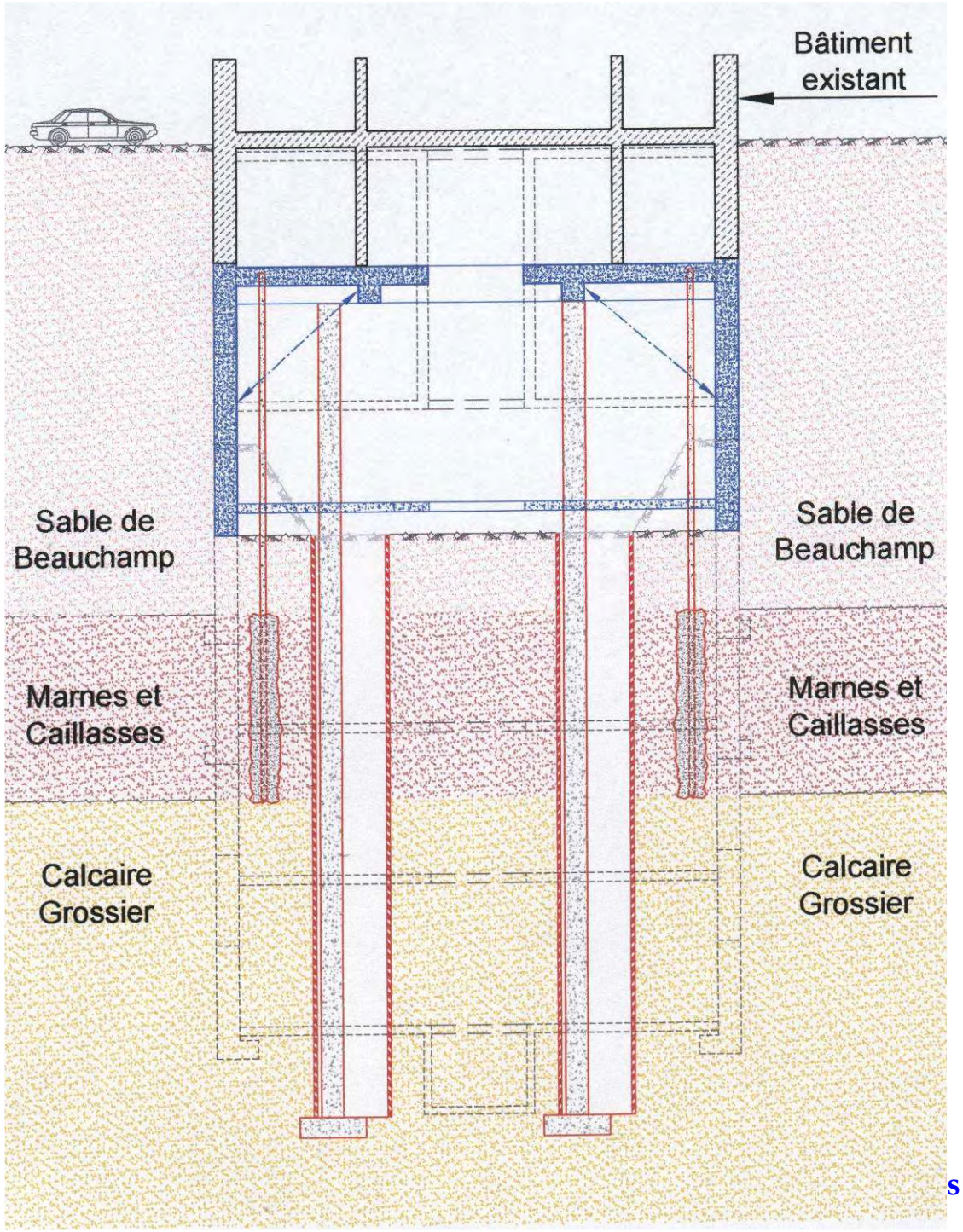
Réalisation de la poutre de chaînage de rive




Poutre du plancher transfert en attente du coulage de la dalle

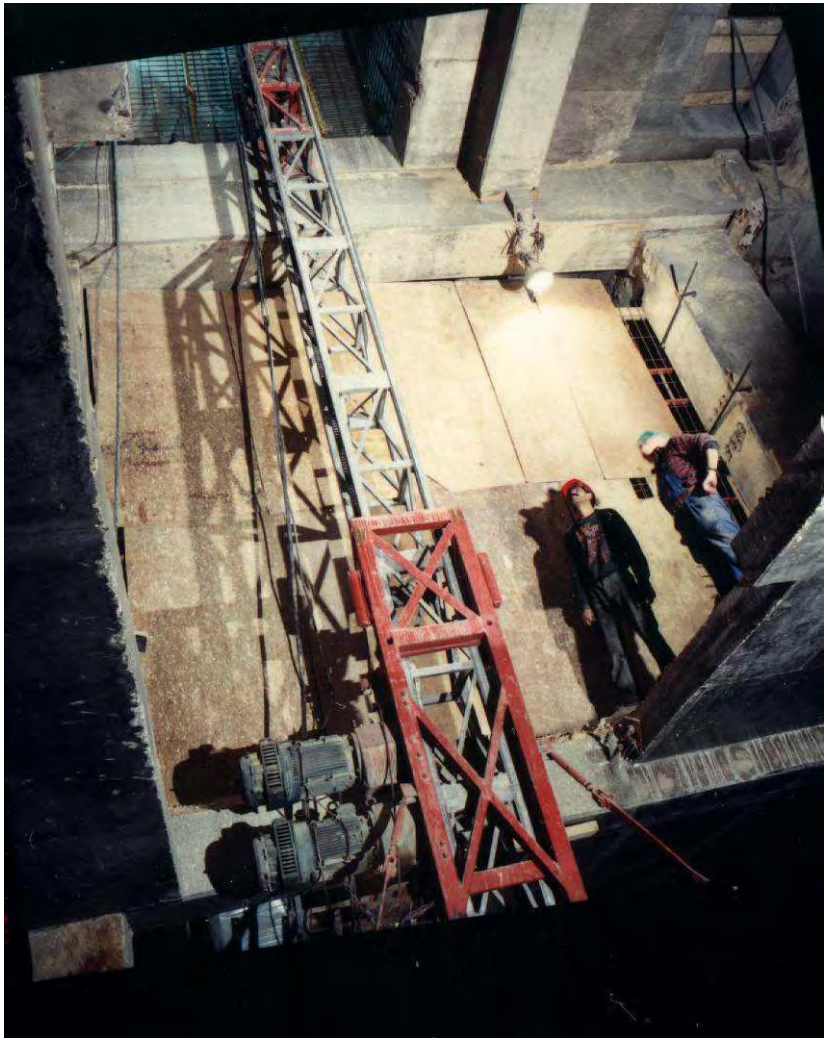



- Phase 3:
  - terrassement par la trémie centrale en conservant une banquette périmétrique,
  - recoupement de la banquette par partie et réalisation de la 2ème ceinture en BP,
  - Pose d'un buton provisoire,
  - poursuite du terrassement en conservant une banquette périmétrique.

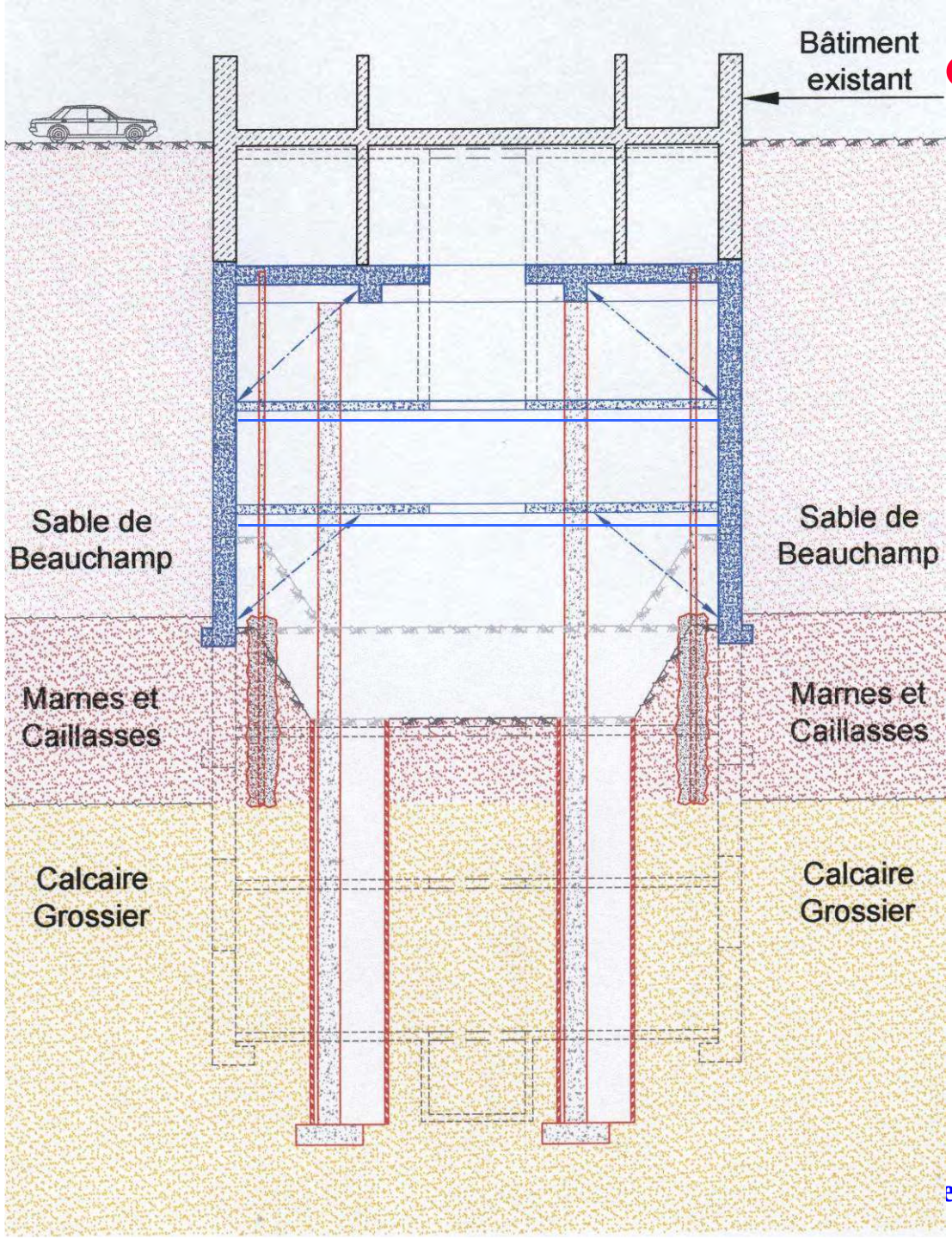



- Phase 4:
  - recoupement de la banquette par partie et réalisation de la 3ème ceinture en BP,
  - réalisation de la dalle coffrée au sol.

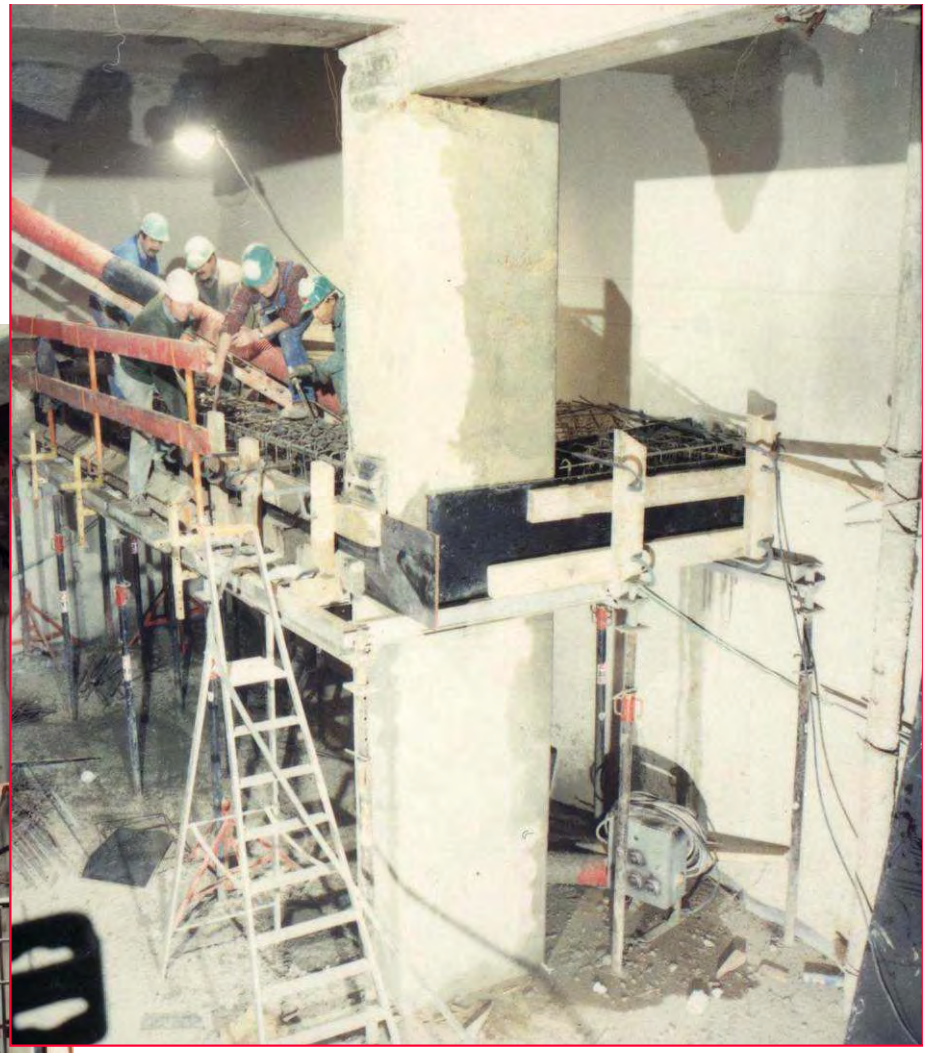
Extraction des terres sur un niveau courant



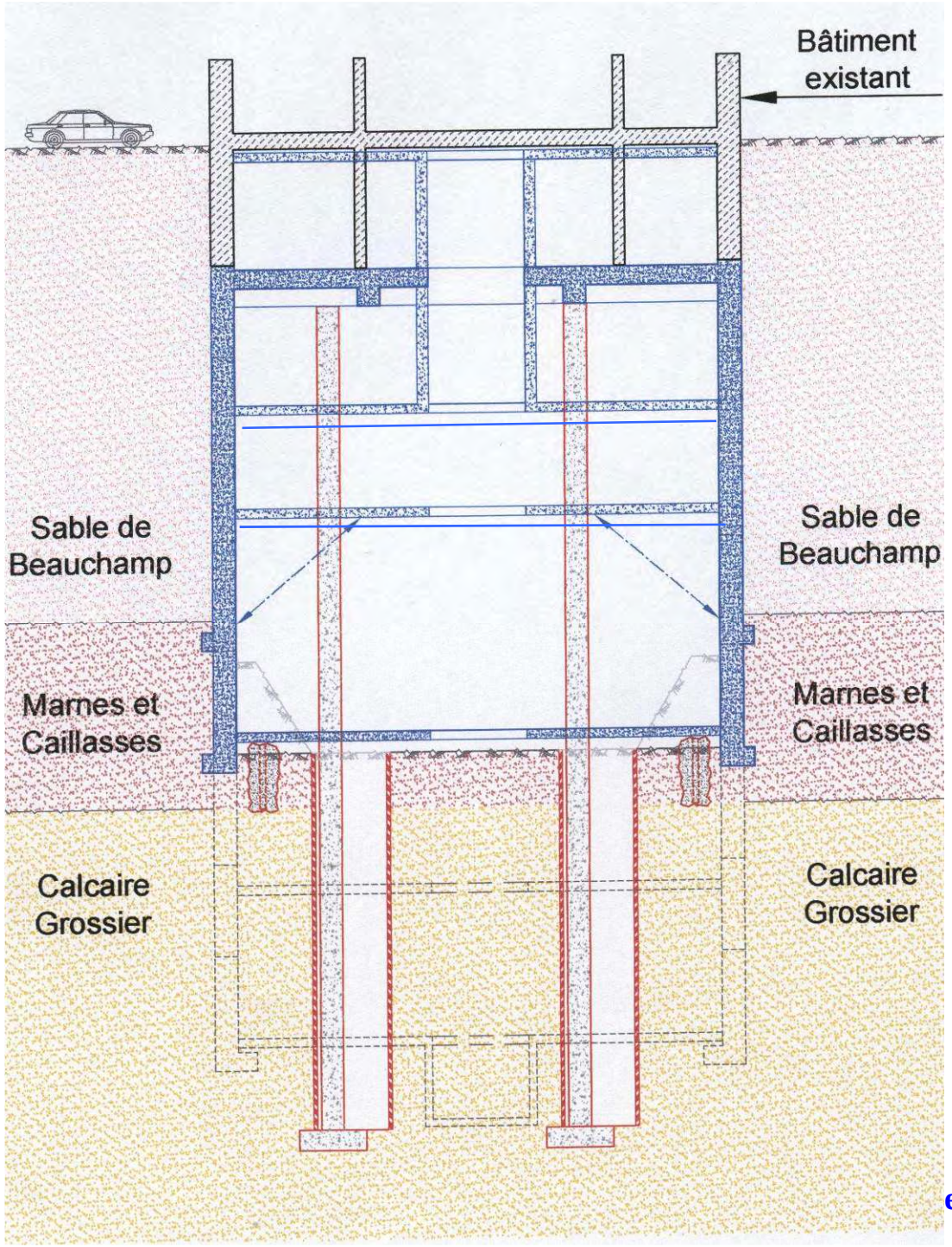
Evacuation des terres au monte-charge



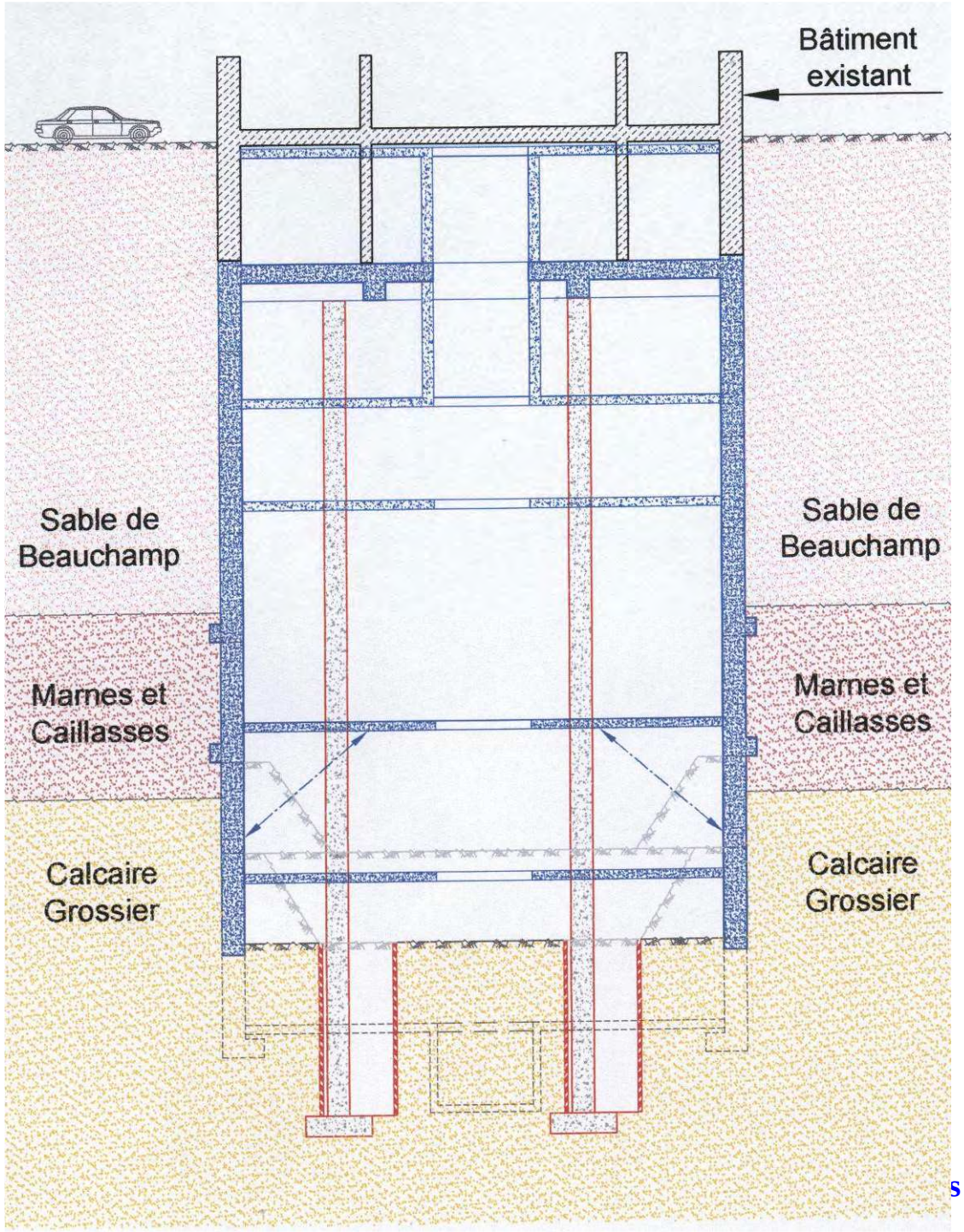

- Phase 5:
  - terrassement par la trémie centrale en conservant une banquette en rive
  - recoupement de la banquette par partie et réalisation de la 4ème ceinture en BP avec réalisation d'une semelle provisoire dans les M&C,
  - Pose d'un buton provisoire.
  - poursuite du terrassement en conservant une banquette périmétrique,
  - Mise en œuvre de la dalle intermédiaire.



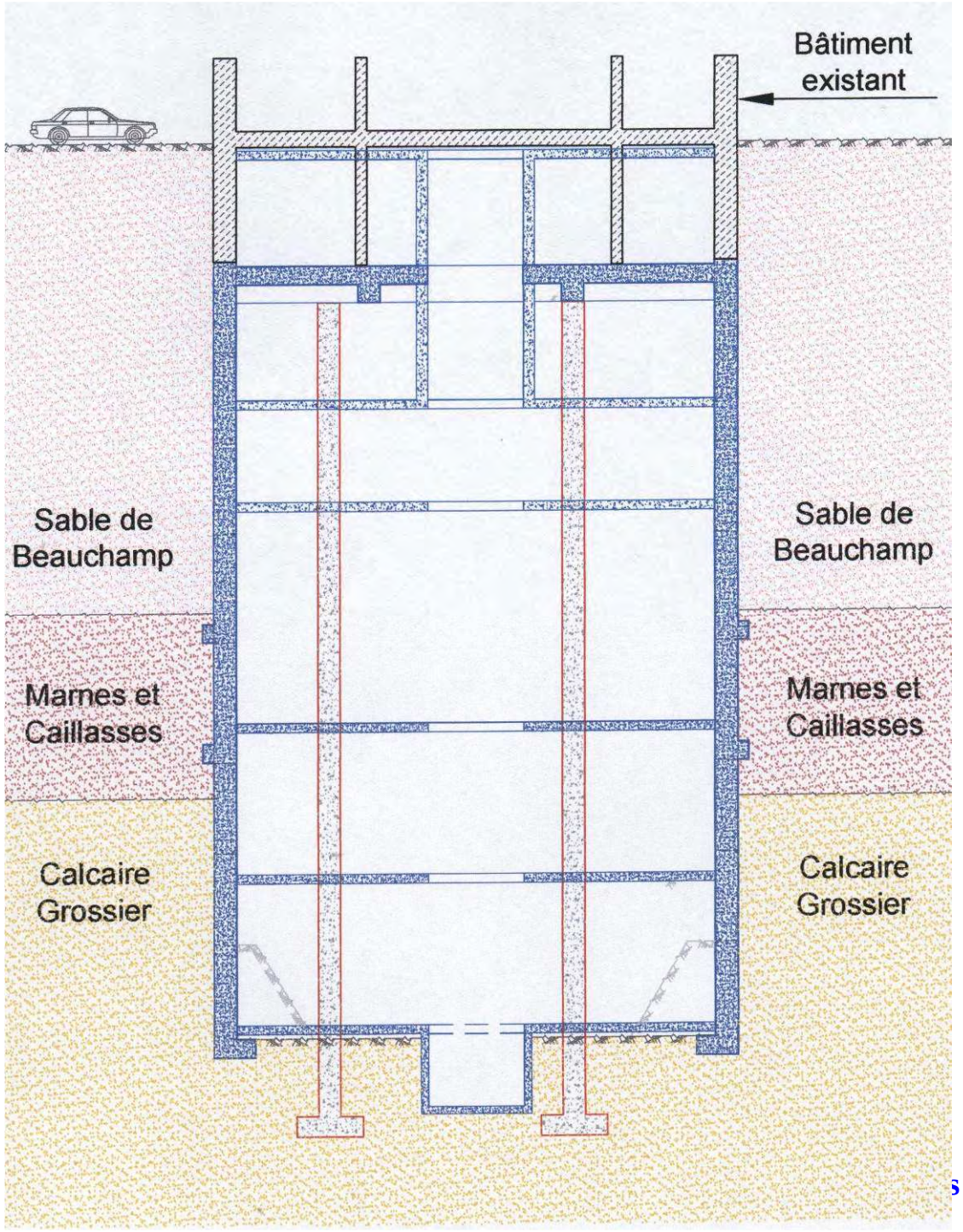
Construction des niveaux intermédiaires



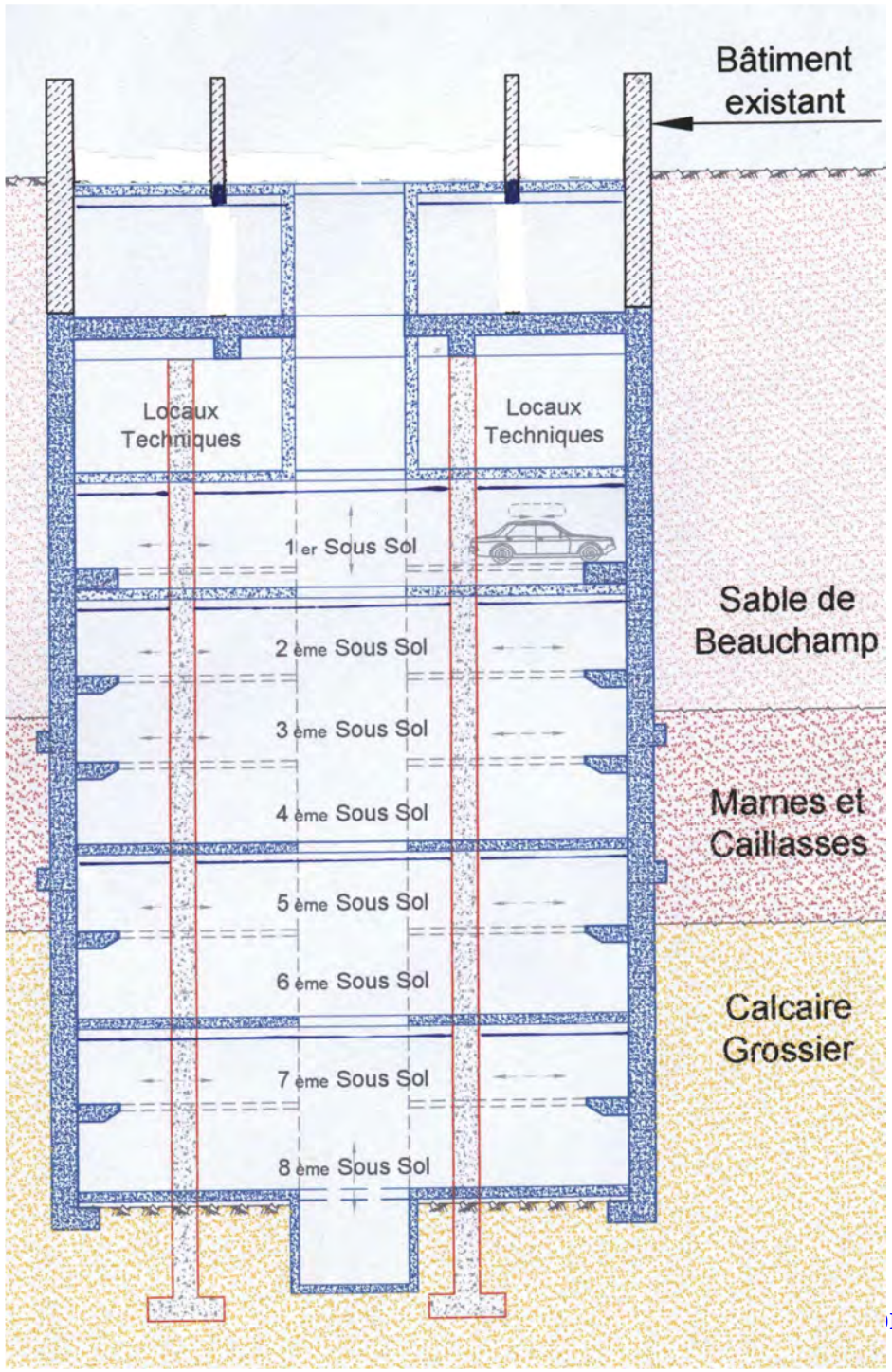

- Phase 6:
  - recoupement de la banquette par partie et réalisation de la 5ème ceinture en BP avec réalisation d'une semelle provisoire dans les M&C,
  - dépose des micro-pieux provisoires,
  - réalisation de la dalle coffrée au sol.
  - Mise en œuvre de la dalle basse en RdC .

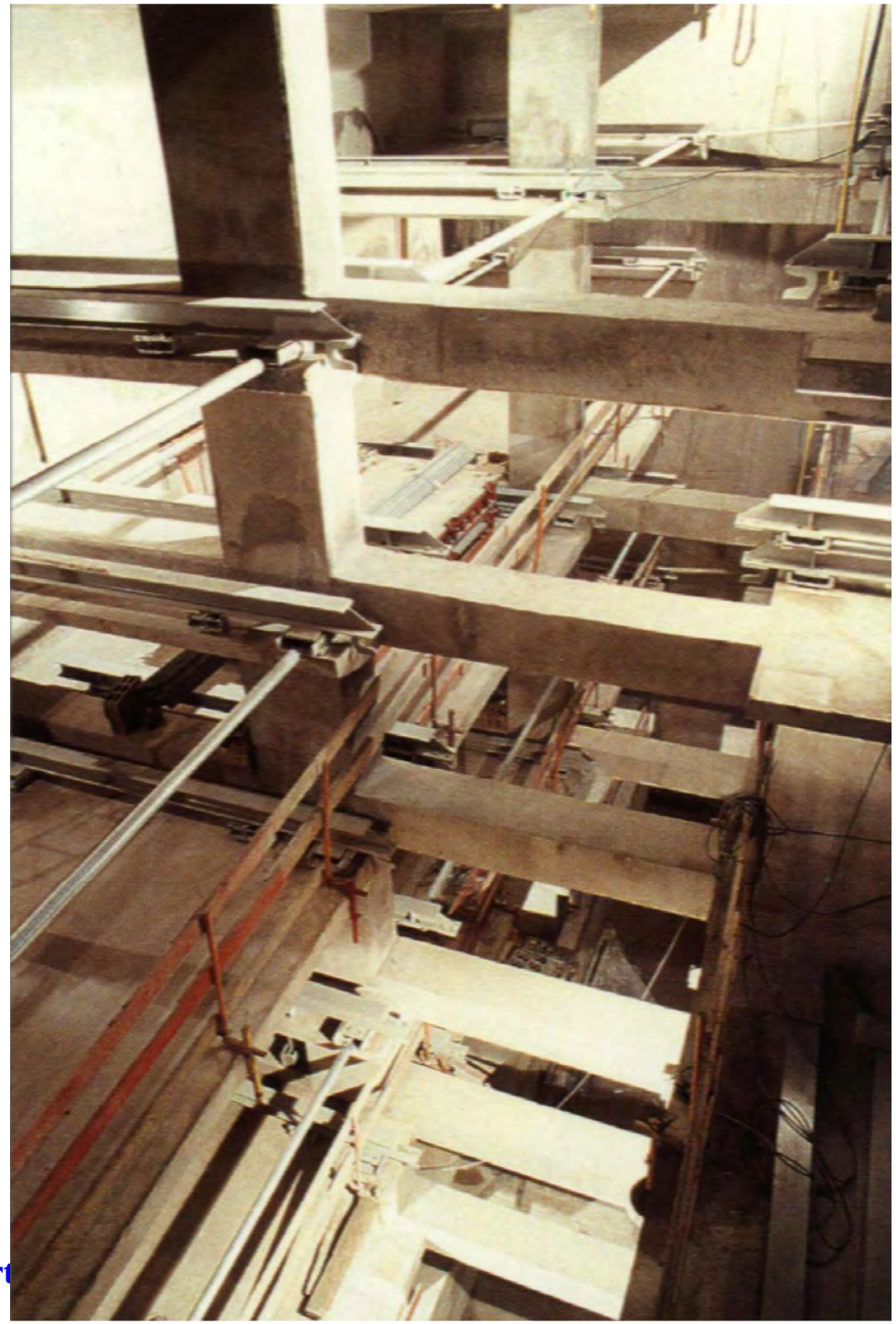



- Phases 7 et 8:
  - terrassement par le puits central en conservant une banquette périmétrique,
  - recoupement de la banquette par partie et réalisation de la 6ème ceinture en BP,
  - terrassement central, puis recoupement de la banquette et réalisation de la 7ème ceinture,
  - réalisation de la dalle inférieure.




- Phase 9:
  - terrassement par le puits central en conservant une banquette périmétrique,
  - recoupement de la banquette par partie et réalisation de la 8ème ceinture en BP,
  - terrassement central, pour réalisation du caniveau technique puis du dallage.


Bâtiment existant
Locaux Techniques
Locaux Techniques
1 er Sous Sol
2 ème Sous Sol
3 ème Sous Sol
4 ème Sous Sol
5 ème Sous Sol
6 ème Sous Sol
7 ème Sous Sol
8 ème Sous Sol
Sable de Beauchamp
Marnes et Caillasses
Calcaire Grossier



# FIN